PETRE JUNIE

colecția cristal

CHIMIA — UN ATU PENTRU VIITOR

EDITURA ALBATROS

„Lucrarea prezintă probleme de real interes ale statutului actual al chimiei, ca știință a naturii și ca disciplină aplicativă, oferind, pe baza acestor date, previziuni asupra perspectivelor sale. Scris într-un stil alert și incitant, volumul abordează multe aspecte mai puțin cunoscute publicului larg, conturînd căi de soluționare de multe ori nebănuite problemelor contemporaneității."

Prof. dr. doc. VICTOR EM. SAHINI,
membru corespondent al Academiei R.S.R.

colecția cristal

Lei 14

PREFAȚĂ

Scriind o carte destinată prezentării perspectivelor chimiei în condițiile contemporaneității, autorul ei, absolvent al Facultății de Chimie a Universității din București, realizează în fapt o pledoarie convingătoare și angajantă în favoarea acestei discipline, atît în ceea ce privește tematica ei de cercetare științifică și de aplicații în tehnologie, cît și a dimensiunilor sale sociale, cu numeroasele implicații ce decurg. În fond, problema nu este deloc nouă: din cele mai vechi timpuri procedee empirice de prelucrare chimică a materiilor prime au ajutat omenirea să facă față unor dificultăți precum cele legate de prepararea și păstrarea hranei, de apărarea de frig, de pregătire a unor substanțe destinate refacerii stării de sănătate. În condițiile actualei revoluții științifice și tehnice, amploarea contribuțiilor aduse de chimie la realizările societății sînt de-a dreptul impresionante: datorită progreselor acestei discipline, omenirea a fost scoasă din cercul strîmt al materiilor prime naturale de care dispunea, introducîndu-se la scară industrială materii prime sintetice, cu proprietăți superioare și a căror obținere și prelucrare este bazată pe o tehnologie strict controlată; dispunem în prezent de peste două milioane de materiale, într-o gamă foarte diversificată. (Este adevărat însă și faptul că nivelul mediu atins în prezent în lume de consumul de materii prime este de 12—20 tone/an pentru fiecare locuitor al Terrei; în țara noastră el este de aproape 15 tone/an pentru fiecare locuitor, din care circa 40% pentru utilizări energetice. Este ușor de înțeles atunci de ce refolosirea judici-

oasă, recuperarea și reciclarea resurselor materiale constituie o preocupare de primă însemnătate.)

Numeroase, complexe și cerînd operativ soluții realizabile la dimensiunile practicii sociale, problemele actuale ale chimiei aparțin atît laturii sale gnoseologice, corespunzătoare caracterului său de știință a naturii, cît și tehnologiei și ingineriei la nivelul atins de acestea la sfîrșitul secolului XX. În lucrarea de față, autorul a optat pentru a prezenta unele dintre cele mai importante; ne avizează însă că rămîn încă altele care vor trebui aduse la cunoștința publicului. În tot cazul, cele patru capitole ale acestei lucrări oferă cititorului un conținut bogat, interesant, actual, cu deschidere către unele din problemele cu care va fi confruntată omenirea în secolul XXI. Parcurgerea cărții oferă atît ocazia de a reflecta asupra rolului chimiei în viața modernă, asupra risipei de materii prime, asupra costului ecologic al unora din actualele procedee tehnologice, asupra perspectivelor energetice, cît și de a căpăta convingerea că se vor găsi soluții corespunzătoare, echilibrate și de reală valoare pentru societate.

Prof. dr. doc.
VICTOR EM. SAHINI,
membru corespondent
al Academiei R. S. România

SCURTĂ INTRODUCERE

Evoluția accentuat ascendentă a civilizației noastre în acest atît de frămîntat secol al XX-lea, dezvoltarea economică accelerată a multora dintre statele lumii în ultimele decenii au adus în prim-planul atenției opiniei publice mondiale și cîteva probleme spinoase, nesoluționate încă. Pe măsură ce se acumulau, pe de o parte, realizările tot mai spectaculoase ale revoluției tehnico-științifice contemporane, cu atît mai sumbre se conturau, pe de alta, acele „crize ale dezvoltării" cu care se confruntă tot mai acut omenirea.

Într-adevăr, concomitent și, în mod paradoxal, în ciuda unor extraordinare înfăptuiri ale geniului uman, cum ar fi, spre exemplu, pătrunderea omului din ce în ce mai adînc în spațiul extraterestru sau în abisurile oceanului planetar, în tainele micro- și macrocosmosului, realizarea unor amenajări la scară planetară a Terrei, „îmblînzirea" energiei nucleare și utilizarea ei — e drept, totuși, încă într-o măsură mult mai mică în folosul decît în detrimentul omenirii, adică mai mult sub formă de arme, cu capacități inimaginabile de distrugere, decît sub formă de centrale nuclearo-electrice — civilizația noastră se află în fața crizei proteinelor, a crizei mondiale energetice, a perspectivei tot mai apropiate a epuizării zăcămintelor de materii prime convenționale, a crizei mediului ambiant etc.

Conturarea și agravarea acestor probleme a condus la apariția unor teorii pesimiste, reacționare chiar, asupra viitorului omenirii. Pentru a întîrzia declinul civilizației noastre, se susține de către unii viitorologi, este necesară reducerea pînă la anulare a ritmurilor de dezvoltare eco-

nomică. Aceasta ar însemna însă, sub aspect social, „înghețarea" actualei stări de profundă inegalitate în repartiția bunurilor materiale și în nivelul dezvoltării științifice și tehnologice al diferitelor state ale lumii. Cu alte cuvinte, ar urma ca țările bogate să rămînă în continuare bogate, în timp ce cele sărace, renunțînd la singurul lor atu — dezvoltarea — să devină tot mai sărace, mai dependente de produsele și tehnologiile statelor industrializate.

O asemenea abordare a fenomenelor logice, previzibile, ale apariției unor crize de creștere pe fondul general al dezvoltării economico-industriale a comunității mondiale nu ține seama de multiplele posibilități de intervenție, în toate domeniile nevralgice, ale științei și tehnicii contemporane.

Alături de celelalte ramuri ale cunoașterii umane, *chimia* modernă este unul dintre factorii de importanță hotărîtoare în rezolvarea problemelor pe care le ridică multiplele crize amintite. Intervenția ei este cvasiuniversală, ea furnizînd soluții noi, revoluționare, în domeniul agriculturii și alimentației, al înlocuitorilor meniți să asigure materiale pentru toate domeniile de activitate omenească, de la cele mai obișnuite, cum ar fi îmbrăcămintea sau încălțămintea, la cele mai sofisticate, precum microelectronica sau construcțiile aero-spațiate, al combustibililor clasici sau sintetici pentru termocentralele sau vehiculele viitorului, al introducerii în circuitul economic a unor noi și neașteptate surse de materii prime, al prevenirii și combaterii poluării mediului ambiant.

În paginile care urmează ne propunem să prezentăm unele aspecte ale intervenției active a chimiei în cîteva dintre cele mai delicate domenii ale dezvoltării economico-sociale, reliefînd atît contribuția cercetării științifice și tehnologice mondiale, cît și a celei din țara noastră. Sperăm că în acest fel cititorul se va convinge de justețea afirmației făcute în titlul lucrării, și anume că știința, în general, și chimia, în particular, reprezintă într-adevăr un atu major pentru viitorul continuu ascendent al omului.

Capitolul I

FACTORUL CHIMIE ÎN ECUAȚIA POPULAȚIE — RESURSE ALIMENTARE

Statisticile sînt cît se poate de categorice: dacă în prezent pe Terra s-a atins pragul celui de al cincilea miliard de locuitori, în jurul anului 2000 numărul acestora se va ridica la circa 6 miliarde, iar în primele decenii ale secolului al XXI-lea el se va cifra la 8 miliarde. Or, în ciuda marilor progrese științifice și tehnologice înregistrate în zilele noastre, problema asigurării necesarului de hrană al planetei noastre este departe de a fi soluționată.

Într-adevăr, conform datelor publicate de organismul specializat al ONU, Organizația Mondială pentru Agricultură și Alimentație (F.A.O.), numărul persoanelor afectate de foamete, subnutrite și malnutriție este de circa 800 000 000. Această rușine a secolului nostru supercivilizat afectează zone întinse ale lumii: patru cincimi din țările în curs de dezvoltare. Pentru populația din 86 de țări ale comunității mondiale deficitul global zilnic de alimente este estimat la 311 miliarde kilocalorii. În 78 de țări ale lumii a treia rata de creștere a producției de alimente este sub cerere, iar în 60 dintre acestea ritmul dezvoltării resurselor alimentare este inferior sporului demografic.

Fapt cutremurător, flagelul pericliteză cu deosebire viața și sănătatea celor mai tineri locuitori ai Terrei. Astfel, din totalul subnutriților și malnutriților, 300 000 000 sînt copii. Anual, subliniază UNICEF, mor de foame în întreaga lume, peste 15 000 000 de copii, adică unul la fiecare 2 secunde. Dacă nu se vor lua măsuri hotărîte, energice, la scară planetară, avertizează același organism, nu peste multă vreme se va ajunge la situația ca în lume să existe 600—650 de milioane de copii subalimentați.

Situația aceasta dramatică, umilitoare pentru omul secolului XX, are la bază, în primul rînd, cauze sociale. Factorul ce grevează cel mai puternic asupra producției

mondiale de alimente este persistența în unele țări din America Latină, Africa sau Asia a unor rămășițe feudale, a unor mari latifundii. Astfel, în zone întinse din America Latină 17% din proprietarii de pămînt controlează 90% din suprafața agricolă, iar în țări din Asia de Sud 20% din proprietari dețin 80% din suprafața cultivabilă. În R. P. Chineză nu se mai înregistrează fenomenul foametei de multă vreme, deși fiecăruia din cei peste 1 miliard de locuitori îi revine numai 0,13 ha teren agricol, în timp ce în alte țări de pe același continent, unde fiecărei persoane îi revine 0,4—0,5 ha, foametea este endemică datorită persistenței marilor latifundii feudale ce nu produc decît de 8—14 ori mai puțin decît mica proprietate agricolă.

Criza alimentară este generată și de repartiția inechitabilă a cerealelor — produs agricol de bază — între țările lumii a treia și cele dezvoltate. Se știe poate mai puțin faptul că, în prezent, producția de cereale a lumii acoperă și chiar depășește consumul mondial. Conform datelor F.A.O., în fiecare an se produc pe Terra 1 300 000 000—1 500 000 000 tone de cereale. Din acestea însă țările dezvoltate consumă peste 50%, deși nu reprezintă decît 25% din populația lumii. Explicația? În creșcătoriile de animale din aceste țări este utilizată 25% din cantitatea totală de cereale a lumii, ceea ce reprezintă necesarul de consum a circa 1,5 miliarde de oameni.

Există chiar un cerc vicios al spolierii țărilor sărace de către cele bogate. Astfel, țările în curs de dezvoltare au în tot mai mare măsură nevoie de alimente cu valoare nutritivă ridicată. Importurile lor au crescut de la 20 milioane t/an în anii '60 la peste 50 milioane t/an în deceniul '70 și se estimează că ele se vor ridica la circa 200 milioane t/an la sfîrșitul acestui deceniu. Dar, pentru a obține fondurile valutare necesare acestor importuri și pentru a-și achita datoriile contractate, țările lumii a treia, cele mai sărace de pe Terra, exportă... cereale în țările dezvoltate, unde pînă în două treimi din disponibil este utilizat pentru furajarea vitelor. Astfel, la începutul anilor '80 Comunitatea Economică Europeană a importat anual circa 45 milioane tone cereale pentru hrana vitelor. Din această imensă cantitate peste o treime provenea din țările în curs de dezvoltare.

Iată motivele pentru care prima dintre măsurile necesare eradicării flagelului rușinos al foametei și subnutriției este instaurarea unei noi ordini economice mondiale, mai dreaptă, mai echitabilă, în cadrul căreia țările bogate să sprijine — în interesul general și al lor propriu — dezvoltarea celor sărace. Aceasta cu atît mai mult cu cît bunăstarea lor se bazează pe exploatarea timp îndelungat, prin intermediul vechiului sistem colonial, a actualelor țări în curs de dezvoltare. În cadrul unei cooperări internaționale reciproc avantajoase ar fi posibil de realizat performanțe spectaculoase în domeniul sporirii producției de alimente, s-ar valorifica într-o măsură mult mai mare potențialul agricol al planetei. Căci, nu se sfiesc să sublinieze numeroși specialiști, dacă actualele metode agrotehnice ar fi aplicate în întreaga lume, pe toate suprafețele cultivabile disponibile astăzi, Terra ar putea hrăni circa 47 miliarde de locuitori la standardul de viață din S.U.A. și 157 miliarde la nivelul celui din Japonia.

Și totuși, dacă ritmul actual de creștere a populației pe Pămînt, care este de 2% pe an, se va menține, cifra de 47 miliarde locuitori va fi atinsă în următorii 120 de ani, iar cea de 157 miliarde în 180 de ani. Cum va interveni știința în general și, mai ales, chimia în această dificilă ecuație cu două mari necunoscute: populație — resurse alimentare?

1. Îngrășămintele clasice și cele neconvenționale

Astăzi se știe cu precizie că pentru a obține o tonă de grîu sau porumb boabe, plantele de cultură trebuie să extragă din sol, în timpul perioadei lor de vegetație, o cantitate de 25 kg azot, 12 kg fosfor și 28 kg potasiu. De unde și-o pot ele procura?

Oamenii au început să cultive cereale acum 10 000—12 000 de ani. Curînd ei au observat că dejecțiile animalelor și păsărilor, resturile animale și vegetale, marna, varul, gipsul, cenușa de lemn, turba și alte materiale au acțiune favorabilă asupra creșterii recoltelor și au început să le utilizeze sistematic în acest scop. Atunci au început să apară și primele teorii despre nutriția plantelor. Astfel, la popoarele antice, s-a vorbit despre o „grăsime" a

solului *(terrae adeps)* ce îi asigură fertilitatea și pe care îngrășămintele o măresc, concepție preluată de Aristotel (384—322 î.e.n.) și dezvoltată ulterior de A. Thaer (1753—1828), sub numele de nutriția plantelor cu humus. Aceasta a fost, poate, cea mai perenă teorie care, în ciuda naivității ei, conținea un sîmbure de adevăr.

Confuzia care exista încă în urmă cu 200—300 de ani în privința mecanismelor nutriției vegetale este ilustrată de prima încercare experimentală efectuată în 1629 de J. B. van Helmont în acest domeniu. El a cultivat o salcie tînără într-un vas conținînd o cantitate cîntărită de pămînt. După cinci ani, salcia a crescut mult în greutate, dar masa pămîntului din vas a rămas aceeași. Pentru că nimic în afară de apă nu a fost adăugat în vas, concluzia sa a fost că sporul de greutate al plantei provenea din apă, concluzie logică în acea vreme, cînd predomina teoria lui Aristotel după care materia era compusă din cele patru elemente: pămînt, aer, apă și foc. Concepția alchimistă ce domina viața științifică a vremii nu excludea transformarea „elementului" apă în „elementul" lemn.

Observînd efectul stimulator al substanțelor minerale, Bigby declara în 1660 că numai prin simpla utilizare a salpetrului a reușit să transforme pămîntul cel mai sărac în unul fertil, capabil prin cultivare să dea recolte foarte bogate. După ce prin lucrările lui A. L. Lavoisier (1743—1794) s-au pus bazele chimiei moderne, după ce s-a stabilit compoziția aerului și au început să fie înțelese numeroase fenomene chimice (oxidarea, respirația, fermentația etc.), după ce J. Senebier (1742—1809) a explicat asimilarea dioxidului de carbon din aer sub influența luminii, cercetările din domeniul fiziologiei vegetale, bazate pe metode cantitative, s-au dezvoltat impetuos. La aceasta și-au adus contribuția numeroși oameni de știință printre care H. Davy, J. J. Berzelius, etc.

Teoria nutriției plantelor cu humus care, printre altele, a stat la baza ipotezei „istovirii" solului și refacerii fertilității prin asolamente, a dominat pînă în 1840, cu toate că J. B. Boussingault (1802—1887) i-a opus teoria necesității indispensabile a azotului pentru plante și a restituirii lui prin îngrășăminte. M. C. Sprengel a arătat că plantele își formează materia organică din substanțele

anorganice extrase din sol și aer, cu ajutorul luminii, căldurii și apei.

Pe măsură ce tot mai multe elemente chimice erau identificate, oamenii de știință au devenit interesați în determinarea cantității și importanței relative a diverselor substanțe minerale din plante. Importanța unui element a fost considerată la început a fi proporțională cu cantitatea găsită în plantă, teorie curînd abandonată, mai ales în urma lucrărilor lui Justus von Liebig (1803—1873), întemeietorul teoriei nutriției minerale a plantelor și precursorul industriei moderne a îngrășămintelor fosfatice, primele îngrășăminte fabricate pe scară industrială.

Liebig a arătat că fiecare recoltă sărăcește solul în anumite substanțe minerale și astfel, cu timpul, se produce o scădere evidentă a fertilității lui, pentru combaterea căreia trebuie să i se redea solului ce i s-a luat prin recoltă. El a recunoscut valoarea azotului, dar a crezut că plantele îl pot obține direct din aer, idee greșită care a frînat un timp dezvoltarea producției îngrășămintelor azotoase.

Valorificînd o idee a lui Liebig, după care făina de oase este un foarte bun îngrășămînt, cu condiția ca fosfatul tricalcic insolubil conținut în ea să fie transformat cu acid sulfuric în fosfat monocalcic, Sir John Lawes (1814—1900), un nobil englez cu înclinații pentru știință, care studiase chimia la Oxford, înființează în 1842 la Deptford, nu departe de Londra, prima fabrică de îngrășăminte fosfatice, cunoscute sub numele de superfosfați. Numai 11 ani mai tîrziu, în 1853, existau deja 14 fabrici; în 1862 unele instalații produceau chiar 1 000 tone pe zi, iar în 1870 numărul fabricilor de superfosfați aflate în funcțiune ajunsese la 80.

Acesta a fost începutul. Dacă în 1847 producția mondială de îngrășăminte fosfatice era de 5 000 de tone, în circa 100 de ani ea crește de 4 000 de ori, ajungînd la 20 milioane tone. În același timp se diversifică mult sortimentele de îngrășăminte, se îmbunătățesc tehnologiile de fabricare, se reduc cheltuielile de transport, depozitare și administrare pe seama creșterii conținutului de fosfor al acestora. Superfosfatul triplu sau concentrat, fabricat în 1870 în Germania, a devenit un important îngrășămînt abia în 1950. Din 1930 începe să se dezvolte în Europa

producția de nitrofosfați. După epuizarea zăcămintelor de guano, la sfîrșitul secolului XIX — începe exploatarea celor de fosfați minerali: apatita și fosforita, zăcăminte care sînt și vor rămîne baza de materii prime pentru industria îngrășămintelor fosfatice.

Îngrășămintele cu azot apar mai tîrziu. La început s-au folosit zăcămintele naturale de Salpetru de Chile (azotat de sodiu). Cînd în 1813 a început exploatarea primului zăcămînt, agricultorii, tributari ideilor lui Liebig, l-au folosit în mult mai mică măsură decît... fabricanții de explozibili. Dar numai pe seama celor 5 kg de azot la hectar aduse de apa de ploaie, cît și a azotului provenit din resturile organice sau fixat pe rădăcinile leguminoaselor, nu se puteau obține decît recolte slabe. De aceea au început să fie aplicate apele reziduale de cocserie unde se afla sulfatul de amoniu și să se fabrice cianamida de calciu. În 1902, lîngă cascada Niagara s-a construit prima instalație de sinteză în arc electric a oxidului de azot. Ea a fost însă închisă în 1904 din cauza randamentului prea scăzut. În Norvegia procedeul a fost utilizat pînă în 1927.

Marele eveniment l-a constituit însă realizarea de către Fritz Haber și Karl Bosch a sintezei amoniacului, baza întregii producții de îngrășăminte azotoase. În 1914 funcționa la Oppau, în Germania, prima fabrică de amoniac din lume. Utilizat inițial ca explozibil, azotatul de amoniu capătă importanță ca îngrășămînt începînd din 1940, cînd a putut fi obținut la prețuri convenabile și devine, începînd din 1960, cel mai important îngrășămînt cu azot. Fabricată industrial ceva mai tîrziu, ureea are în schimb cele mai mari perspective de utilizare.

Cele mai timpurii surse de potasiu pentru nutriția minerală a plantelor le-au constituit cenușa de lemn, reziduurile de la prelucrarea sfeclei de zahăr și salpetrul. Depozitele de săruri din Germania au fost deschise în 1860 și au dominat piața mondială timp de 75 de ani. Cele mai importante produse sînt clorura, sulfatul și azotatul de potasiu. S-au descoperit și au intrat în exploatare importante zăcăminte de săruri potasice în Franța (1910), Spania (1925), U.R.S.S. (1930), S.U.A. (1931) și Canada (1960).

Între 1847 și 1921 (cînd a început în S.U.A. aplicarea procedeului Haber), ritmul dezvoltării industriei de îngrășăminte a fost totuși destul de modest. A urmat o perioadă de trei decenii de reorganizare pe multiple planuri a acestei industrii și de noi acumulări calitative. Începînd din 1950 s-a produs o cotitură în ritmul de valorificare a noilor cercetări și de creștere a producției, acest an fiind cea mai importantă dată în istoria producției de îngrășăminte. Utilizarea pe scară largă a îngrășămintelor chimice este, prin urmare, de dată relativ recentă: aproximativ 30—40 de ani, chiar și în țările dezvoltate.

Folosirea integrală a suprafețelor cultivabile pentru producerea de cereale și creșterea productivității în agricultură reprezintă principalele căi de rezolvare a problemei alimentației. În prezent, pe plan mondial, numai circa 10% din suprafața uscatului este teren arabil și doar 2/3 din această suprafață este folosită de culturile importante. Suprafața agricolă nemaiputînd fi decît foarte puțin majorată, dezvoltarea producției agricole intensive reprezintă cel mai de seamă mijloc de a asigura hrana omenirii. Se apreciază că aproximativ 50% din creșterea randamentului la hectar poate fi atribuită utilizării îngrășămintelor chimice, iar restul, tuturor celorlalți factori: irigații, semințe ameliorate, insectofungicide, mecanizarea agriculturii etc.

Cerealele reprezintă principala sursă de proteine pentru oameni în cea mai mare parte a globului. Din totalul proteinelor disponibile pe plan mondial, circa 48% provin din cereale în comparație cu 30% din sursă animală. În multe țări în curs de dezvoltare, cerealele acoperă peste 80% din totalul necesarului de calorii. Orezul este considerat printre cerealele puțin folosite, pe cînd grîul printre cele predominante. Calitatea proteinelor cerealiere nu este însă tot atît de ridicată ca a celor animale, datorită în primul rînd lipsei unuia sau mai multor aminoacizi esențiali din proteinele vegetale. Unii dintre aceștia au putut fi sintetizați la prețuri convenabile și utilizați sub formă de adaos în alimentație: lizina, metionina, triptofanul și treonina. În India, de pildă, se fabricau, la sfîrșitul anilor '70 circa 100 milioane de pîini îmbogățite cu vitamine, produse minerale și lizină, avînd o valoare nutritivă superioară cu 30% față de pîinile neîmbogățite.

Unele îngrășăminte, în special ureea și fosfații defluorizați, se folosesc pe scară tot mai largă în zootehnie, observîndu-se că deficitul de săruri de calciu și fosfor în rația furajeră a animalelor provoacă îmbolnăvirea de rahitism, osteomalacie și anemie. Un kilogram de uree este egal ca valoare nutritivă cu 2,6 kg proteine digerabile care există în nutrețuri, adăugarea ei în proporție de 0,6—0,8% în silozul de porumb completînd cu 30—50% necesarul de proteine. Prin folosirea directă a îngrășămintelor chimice sub formă de supliment la rația furajeră se obțin sporuri în greutate de 15—25% pentru taurine, porcine, păsări și cantități suplimentare de lapte, lînă, ouă.

Cercetări de lungă durată au stabilit că în nutriția de origine minerală a plantelor sînt necesare cel puțin 12 elemente. Ele au fost împărțite în trei grupe, după importanța, dar mai ales după cantitățile metabolizate de plantă: elemente nutritive primare — azot, fosfor și potasiu; elemente secundare — calciu, magneziu și sulf; microelemente — fier, cupru, zinc, mangan, bor, molibden.

Cantitatea de substanțe nutritive preluată de recolte variază considerabil, în funcție de tipul de sol, condițiile climatice, cantitatea de substanțe nutritive existentă în sol, tipul și varietatea de recoltă, nivelul producției etc. Complexitatea corelării tuturor acestor factori s-a realizat în cadrul unei discipline noi: agrochimia. Termenul de chimizare a agriculturii introdus de Prianișnikov în 1924, astăzi de uz curent, exprimă indestructibila fuziune dintre chimie și agricultură.

Astăzi există numeroase tipuri de îngrășăminte: *simple* (cu un singur element nutritiv) care, la rîndul lor, pot fi azotoase, ca azotatul de amoniu, de calciu, nitrocalcarul (conținînd forma de azot nitrică, cea mai ușor asimilabilă de către plante), sulfatul de amoniu (cu azot amoniacal, formă mai greu asimilabilă și levigabilă), ureea, cianamida de calciu (cu azot amidic, accesibil plantelor după mineralizare enzimatică în sol); fosfatice, ca superfosfatul simplu și concentrat, făina Thomas, termofosfații și chiar roca fosfatică ca atare, măcinată sau activată cu acizi; potasice, cum este clorura de potasiu; *mixte și compuse*, reprezentînd produse unitare sau amestecuri de compuși conținînd cel puțin două elemente nutritive majore ca fosfatul mono și diamoniacal, azotatul de potasiu, îngrășămintele NP(azot-fosfor) sau NPK(azot-fosfor-potasiu) obținute prin amonizarea unor amestecuri de acid fosforic și azotic, urmată eventual de adăugarea sărurilor de potasiu; *cu microelemente*, conținînd, pe lîngă elementele nutritive primare, unul sau mai multe microelemente, în cantități reduse. Ca stare de agregare îngrășămintele pot fi solide — sub formă granulată (majoritatea), pulverulente (superfosfații) sau cristalină — și lichide — limpezi sau sub formă de suspensii, fără sau cu tensiune de vapori (apele amoniacale, amoniacații și altele). Ținînd cont de faptul că plantele își pot procura substanțele nutritive atît prin intermediul rădăcinilor, cît și al frunzelor, administrarea îngrășămintelor se poate face prin împrăștiere pe suprafața solului sau încorporare în sol (amoniacul anhidru), dar și foliar, prin stropirea frunzelor cu soluții diluate pentru a evita arderea acestora.

Într-un interval de timp foarte scurt, în producerea și utilizarea îngrășămintelor s-au produs numeroase și importante restructurări și mutații, ca rezultat al perfecționării metodelor de cercetare științifică sau din cauze obiective, cum ar fi impactul crizei de combustibil și materii prime, corelat cu anumite deprecieri calitative și scumpirea acestora, cu necesitatea transferului de tehnologii ieftine spre țările în curs de dezvoltare etc.

Astfel, se poate menționa în primul rînd creșterea ponderii îngrășămintelor azotoase în totalul îngrășămintelor fabricate și consumate, tendința avînd la bază constatarea că 60% din sporul de recoltă se datorește azotului, 25% potasiului și 15% fosforului. În țările în curs de dezvoltare s-a obținut pentru 1 kg azot/ha un spor de 8—14 kg produse vegetale/ha, numai 6—9 kg pentru 1 kg pentoxid de fosfor și 1—3 kg pentru 1 kg oxid de potasiu. Ca urmare, dacă în 1958 raportul azot-fosfor-potasiu a fost de 1—1,5—1,1 în 1968 acesta a devenit 1—0,76—0,64, iar în 1980 1—0,9—0,7. Aceasta este în parte și explicația dezvoltării explozive a industriei azotului în perioada postbelică, ilustrată de faptul că între 1960—1970 producția de amoniac sintetic s-a triplat, 80% fiind utilizat în fabricarea îngrășămintelor.

În ciuda marelui volum de îngrășăminte azotoase produs în lume se apreciază că azotul agricol actual reprezintă doar circa 8% față de cel necesar. În țările în curs

de dezvoltare situația este și mai gravă. Organizațiile de resort din India au prognozat deficite majore de îngrășăminte în perioada anilor 1990. Ele ar putea ajunge, la sfîrșitul deceniului, la 36,5% pentru îngrășămintele cu azot și 68,1% pentru cele cu fosfor. În vederea contracarării situației ar fi necesar ca în India să se construiască într-un interval de 10 ani, cîte 2 instalații de mare capacitate pentru fabricarea îngrășămintelor pe an. Exemplul este, desigur, elocvent pentru marile și dificilele probleme ale agriculturii țărilor în curs de dezvoltare.

Pe plan mondial, ca o altă tendință generală, s-a înregistrat de asemenea o creștere rapidă a producției de uree în detrimentul azotatului de amoniu. Ureea este în curs de a deveni — și va deveni cu siguranță în viitor — principalul îngrășămînt cu azot.

În al doilea rînd, îngrășămintele simple au fost tot mai mult înlocuite cu îngrășămintele complexe NP și NPK. A crescut totodată concentrația în substanță activă a îngrășămintelor solide și lichide, fapt ce contribuie la reducerea cheltuielilor de transport, depozitare și aplicare. În al treilea rînd, s-a extins utilizarea îngrășămintelor lichide, fiind astfel economisită energia necesară concentrării și granulării lor. Ele pot fi administrate mai economic, concomitent cu antidăunătorii și stimulatorii de creștere. S-a extins fabricarea îngrășămintelor cu microelemente care reprezintă în țările dezvoltate jumătate din producția de profil și a crescut de asemenea, în mod constant, consumul de îngrășăminte pe hectar.

În deceniul 1960—1970 consumul mondial de îngrășăminte a crescut într-un ritm mediu anual de 13,1%, cu ritmuri mai mari, de 21,6%, pentru țările socialiste. Totuși consumul de îngrășăminte pe hectar al țărilor în curs de dezvoltare a fost de 7 ori mai mic decît al țărilor dezvoltate în anii 1968—1970; pe locuitor, acesta a fost de 42 kg în țările dezvoltate și de numai 3,5 kg în țările în curs de dezvoltare. Estomparea acestor decalaje trebuie să aibă loc în deceniile următoare.

Țara noastră este, la ora actuală, un mare producător de îngrășăminte. La această situație s-a ajuns printr-un efort susținut de cercetare științifică și printr-o politică adecvată de investiții. În România antebelică industria de îngrășăminte era cvasiinexistentă. În 1930 se consumau

mai puțin de 0,2 kg/ha îngrășăminte brute. De-abia în 1939 a intrat în funcțiune la Tîrnăveni o fabrică de amoniac de 1 000 t/an, prima fabrică de amoniac din lume bazată pe gaz metan; ea a produs pînă în 1954.

Bazele industriei de îngrășăminte chimice în R. S. România au fost puse în anii socialismului. Dacă în 1948 nu exista decît instalația de superfosfat de la Valea Călugărească (1 100 t/an) și uzina de amoniac și azotat de amoniu de la Făgăraș (150 t/an), în 1968 erau în funcțiune 8 mari unități care produceau circa 2 milioane tone îngrășăminte. S-au construit capacități noi la Făgăraș, Năvodari, Piatra Neamț, Craiova, Turnu Măgurele, Tîrgu Mureș, Slobozia, Arad, Bacău. După anul 1960, producția de îngrășăminte cu azot din țara noastră este caracterizată în literatura străină de specialitate ca producția cu creșterea cea mai rapidă din lume. Deși România lipsește din statisticile vremii pînă în 1953, într-un interval de numai 8 ani cantitățile de îngrășăminte fabricate au crescut de peste 50 de ori. Iată principalii indicatori economici care ilustrează dezvoltarea industriei de îngrășăminte din țara noastră:

Producția de îngrășăminte, mii tone	1950	1960	1970	1975	1980
100% substanță activă, total	0,6	71	895	1 729	2 522
din care: fosfor 100% s.a.	0,6	52	244	404	709
azot 100% s.a.	—	19	647	1 292	1 738
Producția de amoniac de sinteză, mii t. (1938=0,8)	2	35	963	1 895	2 837
Îngrășăminte folosite în agricultură, mii t s.a., total	5,9	74,5	594	928,7	1 217
Producția de îngrășăminte 100% s.a., kg pe locuitor	—	4	44	81	114

La edificarea puternicei industrii de îngrășăminte chimice a țării noastre a contribuit în mare măsură activitatea de cercetare asigurată de Laboratorul de Îngrășă-

minte Chimice din cadrul Institutului Central de Chimie București și a Centrului de Cercetări pentru Îngrășăminte Chimice Craiova. Specialiștii acestor instituții și-au adus contribuția la perfecționarea proceselor tehnologice, la reducerea importului de licențe, la diversificarea sortimentelor de îngrășăminte în raport cu necesitățile și exigențele producției agricole, la valorificarea superioară a subproduselor industriei de îngrășăminte.

Cu toată dezvoltarea impetuoasă a producției de îngrășăminte chimice clasice, de mare tonaj, agrochimia modernă este departe de a considera asemenea produse drept punctul final al evoluției „simbiozei" dintre chimie și agronomie. Îngrășămintele chimice anorganice, cu toate avantajele lor, prezintă și numeroase puncte nevralgice. Argumente? O scurtă trecere în revistă a istoriei lor relevă și multiplele deficiențe pe care acestea le manifestă.

Anul 1842, cînd J. B. Lawess și J. Maurray au obținut brevete de fabricare a superfosfatului simplu în Anglia, este unanim acceptat ca reper al începutului industriei de îngrășăminte chimice, dar despre o astfel de industrie, în adevăratul înțeles al cuvîntului, nu se poate vorbi decît în perioada postbelică. Chiar și așa, într-un timp scurt au avut loc aici numeroase transformări. Cînt în anii '30 s-au introdus îngrășămintele granulate, ele nu au trezit interes în rîndul agricultorilor. În 1970 însă, circa 90% din îngrășămintele fabricate erau granulate. Acest procent a scăzut astăzi în favoarea îngrășămintelor lichide, datorită avantajelor lor economice.

De asemenea, în 1955 superfosfatul simplu reprezenta trei pătrimi din totalul de îngrășăminte cu fosfor, în timp ce astăzi fosfații de amoniu, virtual necunoscuți în acea perioadă, l-au înlocuit aproape complet. La rîndul lor costurile de producție pentru amoniac s-au redus de aproape 3 ori din 1955 pînă astăzi, concentrația în substanțe nutritive a crescut de la 25% în 1950 la peste 40% în prezent, iar consumul de îngrășăminte a înregistrat un ritm superior tuturor celorlalte produse chimice.

Totuși, baza producției de mare tonaj o formează și astăzi sărurile anorganice simple, cu conținut de azot, fosfor și potasiu. Ele sînt într-adevăr eficiente, dar prezintă o serie de dezavantaje care au fost puse în evidență pe măsura aplicării lor în agricultură. Numeroși specialiști

afirmă că trecem acum, în paralel cu dezvoltarea producției de îngrășăminte pe baze tradiționale, printr-o etapă de acumulări calitative, obținute prin cercetări minuțioase, realizate cu cele mai moderne și sofisticate mijloace de investigație, și nu este de mirare dacă într-un viitor nu prea îndepărtat vom considera etapa actuală ca o perioadă de primitivism în producția de îngrășăminte.

Cum se justifică o asemenea afirmație? S-a constatat că din azotul administrat în îngrășămintele clasice, plantele utilizează în decurs de un sezon doar 20—75%. Circa 20% din azotul administrat este utilizat de către microorganismele din sol pentru ele însele, transformîndu-l în substanțe organice. În medie 40% din cantitatea totală de azot aplicat se pierde prin levigare (spălare), volatilizare (în regiunile tropicale pierderile de azot sub formă de amoniac gazos rezultat prin hidroliza ureei, de exemplu, pot atinge 70%), denitrificare biologică (transformarea formelor de azot asimilabil în azot molecular), fixarea ionului amoniu în complexul absorbtiv al solului.

Pentru valorificarea maximă a azotului, în special, și a celorlalte substanțe active, în general, de către plantele de cultură se fac eforturi în vederea reducerii fenomenelor de solubilizare, volatilizare, imobilizare și denitrificare biologică. În acest sens sînt experimentate îngrășăminte neconvenționale cu azot, greu levigabile ce pun în libertate în mod controlat substanțele nutritive. Din această categorie fac parte compușii amidici ca formamida sub formă lichidă ($HCONH_2$) ce conține 31% azot, oxamida — diamida acidului oxalic ($CONH_2)_2$ — cu 31,8% azot, polimerii rezultați prin condensarea ureei cu aldehida formică, acetică, crotonică, izobutirică, îngrășămintele organo-minerale cu proprietăți schimbătoare de ioni și conținut de substanțe humice, cele pe bază de cărbuni inferiori, turbă și lignină. Toți acești produși sînt nehigroscopici, adică nu absorb umiditatea și deci nu se degradează.

Azotul din îngrășămintele ureoformaldehidice (Ureoform, I.U.F.) este solubil în proporție de 25%, fiind asimilat de plante prin acțiunea microorganismelor din sol în decurs de 3—4 săptămîni, partea insolubilă punîndu-se în libertate numai în proporție de 7% pe lună. Și totuși, actualmente, I.U.F. nu reprezintă decît 1,5% din producția

îngrășămintelor cu azot. Crotonilidendiureea (C.D.U., Floranid), ce conține 25% azot, din care 10% azotat, a fost obținută și testată de societatea germană BASF. În 1964, în cadrul uzinelor japoneze „Yokkaichi" a fost pusă în funcțiune o fabrică cu capacitatea de 20 000 t/an de izobutilidendiuree — I.B.D.U., $(CH_3)_2$ $(CH)_2$ $(NHCONH_2)_2$ — cu 31,4% azot. Jumătate din conținutul în azot al acestui îngrășămînt este pus în libertate în decurs de 40 de zile, într-un ritm constant.

S-au studiat de asemenea produsele de reacție dintre amoniac și uree, cunoscute sub numele de triazine, ca melamina, acidul cianuric, amelidele și derivații acestora, ce conțin 32—70% azot. Dintre acestea, acidul triizocianuric reglează cel mai bine nitrificarea. Toate produsele de care s-a vorbit pînă acum sînt încă de circa 3 ori mai scumpe decît îngrășămintele clasice. De asemenea, nu se cunosc toate aspectele legate de toxicitatea, stabilitatea și degradarea lor în sol, acestea constituind impedimente în calea extinderii folosirii lor la nivelul îngrășămintelor clasice.

O altă categorie de îngrășăminte neconvenționale o constituie îngrășămintele acoperite sau capsulate, cu acțiune reglată. Acoperirea granulelor de îngrășăminte foarte solubile, în special a azotatului de amoniu și ureei, cu membrane semipermeabile sau impermeabile, dar degradabile enzimatic, sub acțiunea microflorei din sol, tendință legată de dezvoltarea materialelor plastice în perioada postbelică, urmărește reducerea pierderilor de azot prin solubilizare și levigare.

Acoperirea cu polimeri (polietilenă, poliacetat de vinil etc.) „nu a prins" încă, datorită tehnologiilor costisitoare. În schimb acoperirea granulelor de îngrășăminte cu pelicule de sulf, parafină, asfalt etc. este pe cale de a se „insinua" în tehnologiile actuale de fabricare a îngrășămintelor.

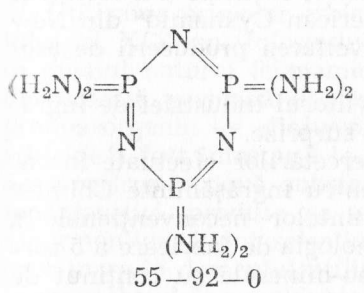
Cele mai bune rezultate s-au obținut prin acoperirea granulelor de uree cu o peliculă de sulf nativ, îngrășămintele conținînd 37% azot și 16% sulf. După tehnologia pusă la punct în S.U.A. de către „Tennesse Valley Authority" (T.V.A.), asemenea îngrășăminte se fabrică, la scară semiindustrială, în S.U.A., Canada, Japonia și în alte țări. Viteza de dizolvare în apă a îngrășămîntului fiind

de 0,1% pe zi, se asigură o utilizare superioară a azotului comparativ cu ureea.

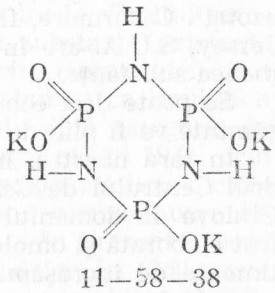
În același context se folosesc și inhibitorii de nitrificare, cu acțiune toxică pentru microorganismele care transformă amoniul în azotat. Dintre aceste produse pot fi amintite 2 clor-6 triclormetil-piridina, cianguanidina, diciandiamida și altele, produse care se amestecă în anumite proporții cu îngrășămintele.

În „arsenalul" substanțelor cu acțiune fertilizantă au început să-și facă apariția și produse cu un conținut foarte ridicat de substanțe active, care tind să depășească procentul de 100%. Dintre produșii cercetați pot fi amintiți:

• hexamida fosfonitrilică, compus ciclic cu azot și fosfor sau azot, fosfor și potasiu, conținînd sub forma 55—92—0,147% substanțe nutritive. Ele au structurile:

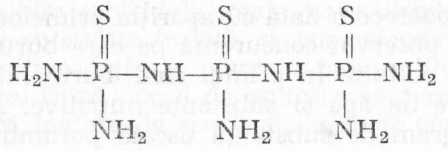


55—92—0



11—58—38

• metafosfații ciclici, de formula generală $N_6P_3O_6H_{15}$, cu 26% azot și 68% fosfor, în parte toxici pentru plante, dar care pot deveni asimilabili prin ruperea formei ciclice. Ei pot constitui intermediari pentru obținerea unor forme convenționale de îngrășăminte; • poliamidele lineare, care conțin puțin sau deloc oxigen și în care se poate introduce sulf după nevoie. Asimilibilitatea fosforului este influențată de lungimea lanțului, a azotului însă nu. Menționăm următoarele exemple: $O{=}P{\equiv}(NH_2)_3$; $S{=}P{\equiv}(NH_2)_3$;



În prezent există tendința de a utiliza elementele nutritive ca atare. S-au făcut astfel încercări de aplicare a sulfului, a fosforului roșu (conținînd 220% P_2O_5), obținut prin polimerizarea fosforului galben, cu un adaos de 1% catalizator pentru oxidare, și avînd efect similar superfosfatului dublu, a soluțiilor de sulf în amoniac lichid sau a soluțiilor de polisulfură de amoniu.

Unele descoperiri recente pot schimba radical concepțiile noastre actuale în domeniul nutriției și fertilizării. Astfel, în urma cercetărilor efectuate la Universitatea din Michigan, S.U.A., profesorul Stanley Reis a reușit să izoleze din lucernă alcoolul denumit triacontanol ce poate fi utilizat ca îngrășământ. Se consideră că această substanță, folosită în cantitate mare, va putea mări producția agricolă pe plan mondial cu cel puțin 25%, fiind cu mult mai eficace decît îngrășămintele clasice, obținute din fosfați și azotați. Ca urmare, firma „American Cyanamid" din New Jersey, S.U.A. are în plan dezvoltarea producerii de asemenea substanțe.

Se poate deci conchide că viitorul industriei de îngrășăminte va fi plin de noutăți și surprize.

În țara noastră, în urma cercetărilor efectuate în cadrul Centrului de Cercetări pentru îngrășăminte Chimice Craiova în domeniul îngrășămintelor neconvenționale a fost elaborată și omologată tehnologia de fabricare a 5 sortimente de îngrășăminte organo-minerale cu conținut de azot, fosfor, potasiu și acizi humici, s-au studiat tehnologiile de fabricare a două sortimente de îngrășăminte ureoformaldehidice, a îngrășămintelor de uree cu pelicule de sulf conținînd 40% azot și 10—12% sulf, a compușilor de adiție ai ureei cu acizi și săruri anorganice etc.

2. De la „prașila chimică" la „medicamentele" pentru plante și animale

Combaterea buruienilor din culturi datează de foarte mult timp deoarece o dată cu apariția primelor culturi organizate s-a observat concurența pe care buruienile o fac plantelor de cultură. În primul rînd, buruienile sînt mari consumatoare de apă și substanțe nutritive. Astfel, pentru un kilogram de substanță uscată porumbul consumă

200—400 litri de apă, în timp ce buruienile ce cresc în culturile de porumb consumă pentru un kilogram de substanță uscată 500—1 000 litri de apă. Ele au, de asemenea, o mai mare capacitate de înmulțire, de diseminare și supraviețuire decît plantele de cultură. Dezavantajele culturilor îmburuienate se oglindesc în pierderile de producție înregistrate: grîu de toamnă, 10—70 la sută; orz, 10—40 la sută; porumb, 30—95 la sută etc.

Folosirea metodelor tradiționale de combatere a buruienilor ca plivitul, prășitul manual și mecanic nu mai pot rezolva singure problema îndepărtării buruienilor din culturi. În condițiile agriculturii moderne s-au căutat noi mijloace de combatere. Apariția primelor produse chimice utilizate pentru înlăturarea plantelor nefolositoare din culturi a realizat o adevărată revoluție în domeniul protecției plantelor.

Utilizarea primelor erbicide a avut loc la sfîrșitul secolului al XIX-lea, folosindu-se inițial substanțe existente în mediul natural (cianamida de calciu, cloranți etc.). Tot din această perioadă datează și întrebuințarea unui nou produs organic — dinitroortocrezolul. Altă categorie de erbicide a fost introdusă în practica agricolă în 1941, prin descoperirea a două substanțe din grupa acizilor diclorfenoxiacetici, produse ce au o acțiune asemănătoare fitohormonilor și sînt selective. Ele au și în prezent o pondere mare în domeniul utilizării erbicidelor. În 1960 apare grupa erbicidelor reziduale care, spre deosebire de cele hormonale, se pot aplica în sol sau pe sol, avînd o acțiune mai îndelungată asupra buruienilor. În prezent a apărut o nouă categorie de erbicide — superselective — al căror spectru de acțiune se restrînge la maximum 2—3 specii. Performanțele lor sînt extrem de ridicate în domeniul selectivității, reușindu-se, de exemplu, combaterea buruienilor graminee din culturile de cereale, deci din aceași familie.

Clasificarea miilor de tipuri de erbicide utilizate astăzi se poate face după mai multe criterii. După spectrul de acțiune deosebim erbicidele totale, care distrug toată vegetația de pe suprafața tratată, și cele selective, care prezintă selectivitate față de plantele monocotiledonate sau dicotiledonate. După epoca de aplicare se cunosc erbicide care se aplică înainte de semănat, erbicide care se aplică

în perioada dintre semănat și răsărit și erbicide care se aplică după răsărire. După acțiunea fiziologică ele se împart în erbicide de contact — acționează direct asupra suprafeței atinse de erbicid —, erbicide sistemice — sînt absorbite de rădăcini sau frunze și translocate în toată planta, acționînd asupra diferitelor organe vegetale —, erbicide reziduale — care se aplică la suprafața solului sau se încorporează în sol și nu permit să crească buruieni o perioadă mai lungă de timp. În sfîrșit, după procesele metabolice afectate, erbicidele sînt inhibitori ai respirației, cu acțiune similară hormonilor vegetali, inhibitori ai fotosintezei sau inhibitori ai germinației.

Problemele pe care cercetarea științifică le are în vedere în prezent în domeniul atît de complex și vast al erbicidelor sînt realizarea unor noi substanțe pentru combaterea buruienilor foarte rezistente, sporirea selectivității erbicidelor, precum și găsirea de noi forme de condiționare a acestora, sintetizarea de erbicide cu toxicitate acută și cronică redusă, introducerea în folosință a unor produse din ce în ce mai ieftine care să asigure o rentabilitate mărită a tratamentelor. O problemă deosebit de importantă este reducerea în tot mai mare măsură a folosirii produselor cu remanență îndelungată, care lasă reziduuri în sol sau pe plantele tratate și care pot fi acumulate în organismul uman și animal.

Paralel cu producția de erbicide s-a îmbunătățit și perfecționat continuu modul de aplicare al acestora. Astăzi, se cercetează noi forme de aplicare, mai ales sub formă de granule, cu volum redus și volum ultraredus, urmărindu-se implicit și proiectarea și realizarea de aparatură necesară aplicării acestor forme de condiționare. Se continuă, de asemenea, producția unor aparate moderne de prăfuit și de stropit cu randamente și performanțe tot mai înalte.

În țara noastră, folosirea erbicidelor constituie unul dintre cele mai importante repere ale modernizării agriculturii. Evoluția producției noastre de erbicide reflectă de altfel importanța mare acordată domeniului. Astfel, încă din 1955 s-a sintetizat industrial la noi produsul 2,4-D (sarea de sodiu a acidului 2,4 diclorfenoxiacetic), substanță care are și astăzi o pondere mare, pe plan mondial, în domeniul aplicării erbicidelor. El este utilizat în special

în culturile de cereale păioase. În anul 1965 s-a sintetizat pitezinul (atrazin), erbicid cu largi aplicații în cultura porumbului. O atenție deosebită se va acorda erbicidelor de tip tiocarbamic — produse importante prin efectele lor și prin protecția mediului înconjurător.

Cercetarea științifică de specialitate, pornind de la necesitatea asigurării sortimentelor și cantităților de erbicide solicitate în agricultură, se preocupă intens de punerea la punct a tehnologiilor de fabricație și de proiectare a unor instalații de înaltă ținută tehnică pentru producerea acestor prețioase produse în condiții de eficiență economică sporită și a unor parametri calitativi tot mai ridicați.

Dar, „prașila chimică“ nu este singura direcție în care chimia modernă intervine în sprijinul agriculturii, pentru combaterea oricăror surse de pierdere sau diminuare a recoltelor. Un domeniu extrem de interesant și actual îl constituie combaterea ... bolilor plantelor. Într-adevăr, fitopatologia, știința care se ocupă cu bolile plantelor și combaterea lor, a intrat în prezent într-o eră care poate fi caracterizată ca revoluționară sub aspectul activității de cercetare și al combaterii operative a bolilor plantelor. În fitopatologie, ca și în medicină, limita de demarcație între starea normală și cea patologică (de boală) rămîne, de obicei, neobservată. La început procesul patologic se manifestă prin modificări cantitative imperceptibile care duc la modificări calitative din ce în ce mai evidente, pînă la apariția simptomelor de boală.

La plante, evoluția și caracterul procesului patologic nu sînt determinate numai de interacțiunile dintre parazit și gazdă, ci și dintre aceștia și condițiile mediului exterior. Cele trei elemente sînt în strînsă legătură și interdependență, alcătuind un tot unitar care va determina evoluția bolii. Agenții patogeni, în funcție de natura lor, pot produce boli neinfecțioase (fiziologice) sau boli infecțioase care sînt produse de virusuri, bacterii, fungi (ciuperci) sau antofite. Ele pot fi acute sau cronice, generale sau locale, în funcție de cei trei factori menționați mai sus.

Cum acționează ei asupra plantelor? Agenții patogeni sînt răspîndiți în aer, apă, sol, de unde, direct sau cu ajutorul unor vectori, ei ajung pe diferite părți ale plantelor. O dată ajunși aici, cu ajutorul „echipamentului“ enzimatic al agentului patogen sau pur și simplu prin folosirea

„porților de intrare" (stomate, pori, perișori, răni), ei pătrund repede în plantă. Unii patogeni rămîn în locul de infecție și produc îmbolnăviri doar la nivelul organului atacat, alții însă pătrund în vasele conducătoare ale plantelor, de unde sînt vehiculați în toată planta. Aceștia din urmă produc îmbolnăvirea întregii plante.

Prima grupă de patogeni este ușor de combătut cu ajutorul pesticidelor de contact care sînt fungistatice (opresc miceliul ciupercii din dezvoltare) sau fungicide (distrug miceliul ciupercii). Astfel, se folosesc în prezent complecși carbamici, captan, produși anorganici cu sulf și cupru, care au un spectru larg de acțiune fungicidă și fungistatică. Pentru grupa a doua de patogeni, combaterea devine mai dificilă, fiind necesare produse care să pătrundă în plantă și să distrugă parazitul. S-a recurs pentru aceste situații la folosirea unor produse sistemice (carboxine, metiltiofanat etc.), care pătrund în plante și opresc dezvoltarea ciupercii sau chiar o distrug.

Astăzi se sintetizează în întreaga lume fungicide preventive sau curative, cu acțiune complexă sau selectivă, care reușesc să stăvilească principalii dăunători ai plantelor de cultură. Astfel, bolile foliare, care diminuau substanțial producțiile de cereale, sînt combătute eficient prin aplicarea tratamentelor preventive sau curative cu benomil, etirimol, oxicarbaxina, metiltiofanat, administrate simplu sau în amestec cu sulful, mancozebul, manebul, zinebul. Tot pentru combaterea bolilor la cereale se aplică cu mult succes tratamentul chimic al semințelor cu metiltiofanat, fungicide carbamice, tiradin sau cu produse organomercurice.

Pentru combaterea bolilor provocate de *Phycomycetes* (ciuperci care produc mari pierderi, în special la legume), s-au sintetizat compuși organo-fosforici și produși sistemici (previcur). Tot la legume, ciupercile *Erysiphaceae* sînt combătute cu fungicide ca sulf, tradimeton, metiltiofanat, previcur, benomyl, produși tip Karatan etc. Aceleași fungicide se folosesc cu succes în combaterea ciupercilor ce parazitează vița de vie și pomii.

În țara noastră, unde numărul speciilor dăunătoare este ridicat, există un program larg de cercetare a produselor pesticide. Se preconizează ca pînă la sfîrșitul acestui deceniu, țara noastră să producă principalele fungicide destinate combaterii acelor boli care încă diminuează producțiile noastre agricole. Un mare accent se pune, de asemenea, în cercetare pe modul de condiționare al acestor pesticide, astfel încît ele să poată fi aplicate ușor, să aibă eficacitate maximă, să fie cît mai puțin periculoase pentru om, fiind preferate produsele care nu sînt remanente și care nu lasă reziduuri în sol sau plante, care pot fi descompuse ușor de micoflora și entomofauna existentă, care să fie cît mai puțin toxice.

Bolile plantelor — oricît de grave ar fi ele — nu epuizează însă, din păcate, sursele de pierderi din agricultură. La fel de păgubitoare este intervenția dăunătorilor. Combaterea insectelor dăunătoare a fost practicată din timpurile cele mai vechi, însă numai din a doua jumătate a secolului nostru, o dată cu descoperirea acțiunii insecticide a DDT-ului (în 1939), cercetările în direcția sintetizării de insecticide au luat o amploare foarte mare. În decurs de cîțiva ani s-au descoperit noi clase de insecticide organice de sinteză, compuși clorurați, compuși organici ai fosforului, carbamați etc.

După acțiunea lor, insecticidele se pot împărți în insecticide de contact, care sînt condiționate sub formă de pulberi sau soluții și care pătrund în organism prin tegument; insecticidele de ingestie, care provoacă moartea prin ingerarea și digestia plantelor tratate cu substanțe toxice; insecticide de respirație, care pătrund în organism prin căile respiratorii și care se folosesc în spații închise, în sere și depozite.

O calitate deosebită a unor insecticide o constituie acțiunea sistemică. Prin insecticide sistemice se înțeleg acele produse care pătrund în plante prin rădăcină, tulpină și frunze și sînt transportate prin țesuturi și sevă în toate părțile în cantități suficiente pentru a realiza concentrații destul de mari pentru a omorî insectele care se hrănesc din aceste părți. Insecticidele sistemice nu acționează asupra entomofaunei utile — polenizatori, prădători etc. —, păstrîndu-se astfel echilibrul biologic în natură.

Insecticidele organoclorurate au avut o importanță foarte mare după cel de-al doilea război mondial. Astfel, este suficient să se amintească contribuția hotărîtoare a DDT-ului și HCH-ului în acțiunea de lichidare a malariei. De asemenea, în ceea ce privește protecția plantelor,

au avut o contribuție foarte mare la creșterea producției la hectar, alături de celelalte măsuri agrotehnice aplicate. Acțiunea lor insecticidă este de contact și ingestie. Dar utilizarea lor îndelungată a dus la apariția unor fenomene negative, cum ar fi rezistența insectelor la acțiunea unor insecticide (se cunosc în prezent peste 200 de specii de insecte rezistente la unul sau mai multe insecticide), distrugerea insectelor utile.

Alt factor hotărîtor care contribuie la eliminarea insecticidelor organoclorurate îl constituie protecția mediului înconjurător. Se știe că aceste produse se degradează încet și se acumulează în sol, în plante, în organismele animale, în special în grăsimi. Astfel, se întîlnesc reziduuri în carnea și în laptele animalelor hrănite cu plante tratate cu produse clorderivate.

Aceste fenomene au condus la orientarea cercetărilor spre sintetizarea și utilizarea unor noi grupe de insecticide cu acțiune biologică — compuși organofosforici și carbamici — care prezintă unele avantaje importante față de cele organoclorurate: se folosesc în concentrații reduse, deci sînt mai economice; nu se acumulează în organismul omului sau al animalelor; unele dintre ele au acțiune sistemică, au remanență scăzută, au o acțiune rapidă asupra insectelor și spectru larg de intervenție.

În țara noastră se produc deja numeroase tipuri de asemenea produse. Astfel, la Întreprinderea Chimică „Sinteza" — Oradea se produc insecticidele „Sinoratox", pe bază de dimetoat, „Carbetox", avînd ca substanță activă malationul, insecticide cu un spectru larg de acțiune, utilizate în pomicultură, legumicultură, plante tehnice, viticultură. De asemenea, tot la „Sinteza" se produce acaricidul „Sintox" (Etion). Se află într-un stadiu avansat al cercetării eficacitatea unui nou produs pe bază de demetonmetil, pentru a se stabili domeniul și dozele de utilizare. La Combinatul Chimic Făgăraș se produce un insecticid utilizat în tratamentele de iarnă în pomicultură, și anume „Dibutox" sau „Dinoseb".

O grupă foarte importantă de insecticide cu o eficacitate foarte bună în combaterea insectelor devenite rezistente, chiar și la insecticidele organofosforice, o constituie derivații acidului carbamic. Dintre aceștia s-au realizat în prezent pe plan mondial foarte mulți compuși. Vom

menționa doar un singur produs — carbarilul —, un pesticid cu o utilizare largă în pomicultură și legumicultură, produs cu o toxicitate redusă față de om și animale cu sînge cald.

Cercetătorii din țara noastră sînt preocupați în continuare de sinteza unor produse cu eficacitate foarte bună, toxicitate cît mai redusă pentru om și animale și selectivitate față de insectele utile.

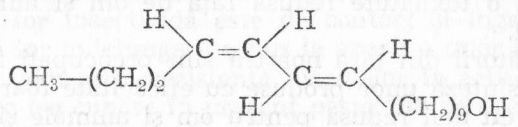
Studiindu-se mai aprofundat fiziologia și biochimia insectelor, s-au găsit substanțe cu acțiune specifică. S-au găsit substanțe care acționează asupra năpîrlirii, metamorfozei și reproducerii insectelor. Există deja cercetări intense în domeniul chemosterilizanților. Sînt crescute în laboratoare populații întregi de insecte ai căror masculi se sterilizează, apoi cu ajutorul avioanelor, sînt „bombardate" pe cîmpurile de cereale infestate. Se obține astfel o scădere substanțială a numărului de insecte dăunătoare.

Folosirea unilaterală, nerațională și excesivă a mijloacelor de protecție chimică a culturilor, îndeosebi a insecticidelor a avut ca urmare, pe de o parte, apariția fenomenului de rezistență în rîndul agenților patogeni și al dăunătorilor față de pesticide și insecticide, iar pe de altă parte a celui de poluare masivă a mediului înconjurător și, în mod deosebit, a resurselor de alimente și furaje agricole. Din această cauză s-au căutat noi căi și metode de combatere a dăunătorilor agricoli, care să facă apel în mai mică măsură — sau chiar deloc — la substanțe toxice pentru om. În acest sens, se consideră că intervenția feromonilor este cu adevărat revoluționară. Despre ce este vorba?

Se presupune de multă vreme că unul din mijloacele de comunicare în lumea viețuitoarelor este de natură chimică. Dovada certă a acestui fapt a fost adusă însă abia în anul 1959, cînd un grup de chimiști germani, condus de profesorul Butenard, laureat al Premiului Nobel, reușesc să stabilească structura chimică și să sintetizeze în laborator substanța pe care o emite femela fluturelui de mătase, *Bombyx mori*, pentru a atrage masculul speciei respective în vederea împerecherii. Această substanță a fost numită Bombykol.

Structura sa chimică este relativ simplă, ea corespun-

zînd unui alcool liniar cu 16 atomi de carbon și două duble legături conjugate.



Izolarea și sinteza Bombykol-ului au stimulat cercetările în acest domeniu astfel încît la ora actuală se cunoaște un mare număr de substanțe cu rol de „mesageri" între diferite viețuitoare, ele purtînd denumirea de agenți semiochimici (semion=semnal). Dacă agentul semiochimic produs de o specie afectează alte specii (efect interspecific), el se numește agent allelochimic. Din această categorie fac parte fagostimulatorii, diferite secreții de apărare, mirosul florilor etc.

Agenții semiochimici intraspecifici, adică cei care sînt emiși și recepționați de indivizi ai aceleiași specii, poartă denumirea de feromoni. Mesajul transmis prin feromoni produce asupra individului receptor o modificare de comportament. După natura comportamentului indus, feromonii sînt de mai multe feluri: sexuali, de agregare, de alarmă, de marcaj al drumului, de marcare a teritoriului etc. La ora actuală, cei mai cunoscuți sînt feromonii insectelor, dar au fost puși în evidență și feromoni ai altor viețuitoare, ca peștii, unele mamifere și chiar ai omului.

Prezența feromonilor la insecte a făcut să se întrevadă încă de la începutul cercetărilor posibilități de aplicare în practică în sensul utilizării lor la depistarea, supravegherea și combaterea insectelor dăunătoare în agricultură și silvicultură. Cei mai utilizați în acest scop sînt feromonii sexuali emiși de femelele diverselor specii, în special fluturi, în perioada cînd sînt apte pentru acuplare.

Comunicarea realizată de insecte prin intermediul feromonilor are trei caracteristici esențiale, care pun în evidență rolul lor deosebit de important pentru intervenția omului pe această cale în supravegherea și combaterea specifică a unor dăunători agricoli. O primă caracteristică este aceea că mesajele sînt transmise cu o eficacitate excepțională. Pentru transmiterea unui număr foarte mare de informații sînt necesare cantități infime de substanță. Un exemplu în acest sens ni-l oferă masculul fluturelui

stejarului, *Lymantria dispar*, care, datorită dezvoltării ieșite din comun a organelor receptoare (antenele) și sensibilității acestora, poate detecta chiar emisia unui nanogram (0,000001 mg) de atractant sexual.

O altă caracteristică constă în aceea că răspunsul organismului receptor este complet „preprogramat", insectele ascultînd orbește de „ordinul" primit. Ele nu sînt capabile să-și modifice răspunsul în funcție de alte informații primite simultan. Astfel, masculii recepționează feromonul atractant sexual, dar nu sînt capabili să-l deosebească de o momeală artificială și încep să se pregătească pentru împerechere ca și cum ar fi atrași de o femelă vie. Tocmai această caracteristică stă la baza folosirii feromonilor sintetici pentru captarea insectelor dăunătoare în capcane de diferite tipuri. Fiecare feromon transmite mesajul pe care îl conține strict intraspecific, informațiile conținute în structura sa putînd fi recepționate și decodificate de regulă numai de indivizii aparținînd aceleiași specii. Această a treia caracteristică conferă o valoare ecologică excepțională intervențiilor omului, tratamentele cu feromoni afectînd exclusiv numai specia împotriva căreia sînt aplicate, celelalte specii din ecosistem nefiind afectate.

Descoperirea și sinteza chimică a feromonilor au deschis noi perspective pentru studierea evoluției și combaterea insectelor dăunătoare. Dacă atractanți sexuali sintetici specifici sînt incluși sau închiși în diferite materiale, se obțin momeli care atrag masculii speciilor respective, iar dacă aceste momeli sînt introduse în capcane prevăzute cu un mijloc de ucidere (prin electrocutare sau intoxicare rapidă) sau care rețin (prin împiedicarea ieșirii sau prin lipirea pe un strat adeziv) insectele atrase, devine posibilă capturarea eficace și foarte specifică a indivizilor aparținînd speciilor care prezintă interes. Cele mai ieftine, practice și răspîndite sînt capcanele adezive.

Se cunosc două metode de combatere a dăunătorilor cu ajutorul feromonilor: metoda captării în masă a masculilor și metoda întreruperii comunicării normale între sexe sau metoda dezorientării masculilor. Prima constă în amplasarea, în zona în care se execută combaterea, a unui număr suficient de capcane cu momeli feromonale care să atragă înainte de împerechere masculii speciei vizate într-o proporție suficientă pentru ca totalitatea (sau

cel puțin majoritatea) femelelor să rămînă nefecundate. Consecința directă a acțiunii este reducerea drastică a numărului urmașilor. Eficacitatea metodei depinde de foarte mulți factori și în primul rînd de izolarea în spațiu a zonelor protejate și de numărul capcanelor pe unitatea de suprafață, număr al cărui optim variază în funcție de specie.

Metoda dezorientării masculilor constă în impregnarea atmosferei de deasupra culturilor care trebuie protejate cu vaporii feromonului speciei vizate, astfel încît masculii acesteia, „bombardați" din toate direcțiile cu molecule de feromon, să devină incapabili să detecteze femelele care emit propriul lor feromon. Rezultatul final este reducerea numărului de femele fecundate și scăderea populației în generațiile următoare. Această metodă se aplică prin amplasarea în teren a unor evaporatoare de diferite construcții la distanță de 5—50 m unul de celălalt. Avantajul pe care-l prezintă constă în faptul că nu necesită consum de carburanți și că sînt suficiente cantități relativ reduse de feromoni (doze de 10—20 g la hectar); ea are dezavantajul unei relative neuniformități a impregnării atmosferei.

O altă cale de dezorientare este cea a feromonului microîncapsulat. În acest caz, feromonul este înglobat într-o bază (gelatină sau masă plastică) fasonată în microgranule (microcapsule) cu diametrul de 1—5 microni; acestea, împreună cu adezivii, intră în componența unor suspensii cu care sînt stropite apoi culturile ce trebuie protejate. Consumul de feromoni la unitatea de suprafață este de această dată de 25—100 g la hectar.

Avînd în vedere importanța domeniului, un colectiv al Laboratorului de produși naturali al Institutului de chimie din Cluj-Napoca, a abordat încă în 1973, studiul feromonilor unor specii de insecte dăunătoare.

O intervenție la fel de benefică a avut-o chimia și în cealaltă ramură importantă a industriei alimentare: zootehnia. Dacă „medicamentele" destinate animalelor de crescătorie — de la vitamine la antibiotice sau la alte genuri de substanțe active — sînt relativ bine cunoscute de către omul zilelor noastre, ele deosebindu-se prea puțin de medicamentele pentru uzul uman, nu același lucru se poate spune despre „îngrășămintele" animale, mai precis

despre substanțele cu acțiune de stimulare a creșterii. Nu este vorba aici de compușii complecși de genul hormonilor, scumpi și cu efecte controversate asupra animalelor, ci despre substanțe pe care industria chimică este capabilă să le producă în cantități mari la prețuri scăzute, iar al căror efect asupra organismului animal este extrem de spectaculos.

După cum se știe, una dintre cele mai ardente probleme ale umanității, ale fiecărei țări în parte o constituie acoperirea necesarului mereu în creștere de alimente cu valori nutritive superioare, capabile să asigure un standard de viață tot mai ridicat locuitorilor planetei Pămînt. În acest context, creșterea animalelor devine o direcție prioritară a agriculturii acestui sfîrșit de secol. Dar organismul animalelor nu este capabil să asimileze azotul aflat liber în natură. El trebuie să-și asigure acest element esențial pentru viață prin consumul de proteine vegetale. Acestea sînt însă ele însele o prețioasă și tot mai solicitată materie primă pentru hrana omului.

Nu poate fi oare rezolvată această contradicție? Răspunsul oamenilor de știință a fost, cel puțin parțial, afirmativ. Într-adevăr, astăzi se știe că rumegătoarele, al căror sistem digestiv dispune de complicatul „stomac" denumit rumen, au posibilitatea de a recurge și la alte surse de azot. Microorganismele prezente în rumen sînt capabile să asigure sinteza de proteine proprii pornind de la amoniac. Problema ce se pune în acest caz este de unde își pot procura rumegătoarele amoniacul.

Primele „rețete" furajere conținînd chimicale aveau la bază ureea. Ajunsă în rumenul animalelor, ea este transformată în amoniac, care servește, la rîndul său, la sinteza proteinelor de care are nevoie organismul. Folosirea ureei ca adaus furajer a cîștigat repede o largă răspîndire în întreaga lume. Ea este legată însă și de numeroase neajunsuri.

În primul rînd, datorită descompunerii rapide a ureei în amoniac, acesta ajunge să fie prezent în exces în rumen. Cum nu toată cantitatea de amoniac poate fi transformată în proteine în același ritm cu punerea sa în libertate, o parte din amoniacul format trece în sînge. El este desigur „legat" chimic în ficat. Dar dacă este depășită „capacitatea de lucru" a epuratorului hepatic, excesul de

amoniac din sînge poate duce rapid la intoxicarea și moartea animalului. Este deci necesară o foarte atentă dozare a conținutului de uree, funcție de greutatea corporală a animalului, fapt nu totdeauna ușor de realizat, mai ales în condițiile marilor combinate zootehnice cu mii și zeci de mii de „pensionari" aflați în subzistență. Pe de altă parte, senzația de rece pe care o produce ureea în gură face ca animalele să nu consume cu plăcere furajele.

Ce se poate face în această situație? Asupra acestei probleme de importanță majoră pentru viitorul zootehniei industriale se concentrează atenția multor specialiști din întreaga lume, printre care se numără și cei din țara noastră. Studiile lor au dus la apariția unui nou furaj de natură pur chimică: izobutilindenureea. La solicitarea Institutului de cercetări pentru creșterea taurinelor de la Corbeanca, Ilfov, Centrul de chimie Timișoara a trecut la elaborarea unui procedeu original de sinteză a prețioasei substanțe. Aici a fost pusă la punct o interesantă metodă de obținere a izobutilindenureei ce valorifică o materie primă ieftină, fabricată în țară în cantități mari în combinatele de îngrășăminte chimice — ureea —, precum și un produs secundar rezultat în industria petrochimică — aldehida izobutilică — care pînă în prezent nu avea o altă utilizare mai avantajoasă. Din punct de vedere tehnologic, procedeul este simplu, ușor de realizat și, mai ales autoterm, desfășurîndu-se fără aport de energie din afară. Din procesul de fabricație nu rezultă produse secundare greu valorificabile sau ape reziduale poluante, iar izobutilindenureea poate fi livrată combinatelor zootehnice așa cum rezultă din instalația de sinteză, fără purificări ulterioare.

Noul produs a fost supus, așa cum era și normal, unor serioase testări în cadrul mai multor institute de cercetări și unități de producție de profil. Concluziile sînt dintre cele mai elogioase. Astfel, în comparație cu ureea, noul furaj chimic are multiple avantaje. În primul rînd, datorită vitezei mult mai reduse de eliberarea amoniacului, este înlăturat complet pericolul intoxicării animalelor. Izobutilindenureea este mult mai bine tolerată și acceptată de vite, nu necesită o perioadă de adaptare în care dozele să fie crescute progresiv, iar fermentația rumenală nu este influențată negativ. Mai mult, ea ameliorează digestibilitatea furajelor inferioare — grosiere și

fibroase —, ca urmare a stimulării bacteriilor celulozolitice din rumen ce produc transformarea celulozei în zaharuri. Noul produs nu este însă numai o sursă neproteică de azot, ci și o sursă de energie pentru organismul animalului. Într-adevăr, prin oxidarea aldehidei izobutilice la acid izobutilic cu ajutorul microorganismelor din rumen se eliberează și o cantitate însemnată de energie care este folosită în procesul de sinteză a proteinelor proprii.

Din punct de vedere practic, izobutilindenureea poate substitui 50—60% din necesarul de proteină al vacilor de lapte și al taurinelor pentru îngrășat, eliberînd pentru alte specii, cum ar fi păsările sau porcii, furaje bogate în proteine vegetale, ca șroturile de floarea-soarelui sau soia. Concret, 400 g de izobutilindenuree pot substitui în hrana vacilor cu o producție medie de 12 l lapte/zi 25 kg de sfeclă furajeră și 2 kg de fîn de lucernă. Producția zilnică de lapte se menține la același nivel, constatîndu-se chiar o creștere a greutății corporale. În combinație cu furaje inferioare, 250 g din noul produs asigură un spor de greutate de cca. 800 g/zi animalelor aflate în îngrășătorii. Testarea produsului în numeroase unități productive din mai multe județe ale țării nu a făcut decît să confirme rezultatele înregistrate la I.C.C.T. — Corbeanca.

Concluziile experimentării noului furaj chimic în cadrul Institutului de cercetări pentru nutriție animală au arătat, la rîndul lor, că, deoarece produsele de digestie rumenală a izobutilindenureei sînt aceleași cu produsele digerării furajelor naturale obișnuite, nu există nici un pericol pentru animal sau pentru viitorul consumator de carne sau lapte. În rumen, în celelalte organe și țesuturi ale bovinelor există toate sistemele enzimatice necesare degradării produselor de metabolizare pînă la substanțe simple ca bioxid de carbon, apă și amoniac. Furajul sintetic este perfect metabolizat, neregăsindu-se nici în țesuturi, nici în lapte. Iată de ce Ministerul Sănătății a avizat folosirea izobutilindenureei ca adaus furajer în hrana rumegătoarelor. În curînd industria chimică va pune în fabricație industrială noul și prețiosul produs. În acest fel, România se va alătura unui număr extrem de restrîns de țări foarte avansate tehnologic, cum ar fi S.U.A., Franța, R. F. Germania, Olanda, care utilizează acest furaj sintetic în creșterea animalelor.

3. Chimia în agricultura și zootehnia viitorului

În încercările de soluționare optimă a dificilei ecuații populație—resurse alimentare, oamenii de știință își îndreaptă atenția și asupra posibilităților de lărgire a „panopliei" de plante agricole cu care este combătută foametea.

Desigur, numărul de specii de plante agricole care sînt folosite de om pentru alimentație este foarte mare. Dar dintre acestea, numai unele, foarte puține la număr, se caracterizează printr-o compoziție chimică a „produsului" principal care să corespundă în măsură cît mai mare cerințelor fiziologice ale organismului uman. Foarte puține plante îndeplinesc încă o serie de alte cerințe vitale, cum ar fi o cantitate cît mai mare de substanțe nutritive într-un volum cît mai mic de produs, particularități biologice care permit mecanizarea totală a tehnologiei de cultivare, capacitate mare de conservare pe o perioadă cît mai lungă de timp fără nici un pericol de alterare, rezistență mare la transport și manipulare.

Pentru asigurarea victoriei asupra foametei, omenirea se concentrează în primul rînd pe producția de cereale, care asigură în multe zone ale lumii 70—80 la sută din necesarul de calorii și 65—70 la sută din necesarul de proteine. Sînt cunoscute roadele „revoluției verzi", care a determinat uriașe progrese în zonele dens populate din sud-estul Asiei. Dar la această revoluție, cum menționează Borlaug E. Norman, ameliorator de grîu, laureat al Premiului Nobel pentru pace, nu au participat decît grîul, orezul și porumbul. Alte cereale economic importante, cum sînt sorgurile, meiurile și orzul, nu au fost luate în considerare decît în mică măsură. Or, cerealele nu prezintă interes numai pentru alimentație directă. Prin ele se poate ajunge la proteina animală, cerealele constituind principala sursă furajeră pentru creșterea animalelor.

Grîul rămîne peste veacuri planta numărul unu în bătălia împotriva foametei în zone întregi ale lumii. Bobul de grîu înmănunchează în el hidrați de carbon și proteine, în linii mari în raport de 6 : 1, raport care satisface în mare măsură cerințele organismului uman. Grîul se caracterizează prin mare plasticitate ecologică, asigură producții medii pe hectar ridicate, cultura se mecanizează în întregime, produsul se păstrează timp îndelungat fără să se altereze, se transportă și se manipulează ușor. Nu întîmplător, pentru prevenirea foametei în diferite zone ale lumii, se cere de la un an la altul asigurarea unor rezerve tot mai importante de grîu.

Orezul, de milenii planta de bază în alimentația populației din țările Asiei Orientale, se înscrie și el ca una dintre marile speranțe în combaterea foametei. Institutul internațional de cercetări pentru cultura orezului din Filipine a creat soiul IR 8, care a determinat o creștere nemaiîntîlnită a producției de orez. China produce astăzi 110 milioane tone de orez, ceea ce înseamnă că revin 137 kg fiecărui locuitor.

Cultivîndu-se numai irigat și pe mari suprafețe, în climat tropical și subtropical, orezul creează condiții deosebite pentru realizarea într-un an, pe aceeași suprafață, a mai multor recolte. Cercetări recente au permis realizarea, în același an, a cinci recolte succesive, și anume: 5 000 kg orez, 25 000 kg cartof dulce, 2 600 kg soia boabe, 40 000 știuleți de porumb pentru fiert și 6 000 kg păstăi verzi de soia pe un singur hectar. Apare astfel problema valorificării tropicelor și subtropicelor, care oferă condiții extrem de favorabile pentru creșterea producției de orez, precum și pentru obținerea unor recolte succesive de alte plante. Această problemă nu poate fi însă ușor soluționată fără o largă cooperare internațională.

Porumbul este așezat astăzi între primele plante în strategia împotriva foametei și alături de el sorgul, plantă supranumită și „cămila vegetală" din cauza rezistenței ei deosebite la secetă. Între recentele realizări ale geneticii vegetale se înscrie crearea hibrizilor de porumb cu boabe bogate în aminoacizi esențiali, lizină și triptofan, aminoacizi practic absenți în proteina porumbului. Porumbul bogat în lizină și triptofan se înscrie printre cele mai valoroase plante alimentare și apare tentația să fie considerat o „supercereală".

Între leguminoasele pentru boabe, soia ocupă, fără îndoială, locul cel mai important. Boabele acestei plante conțin în medie 37% proteine. În proteina boabelor de soia se găsesc 80—90 la sută din aminoacizii cei mai valoroși, necesari proceselor vitale ale organismului. Alături

de substanțele proteice, boabele de soia mai conțin și o cantitate ridicată de grăsimi (17,2—26,9 la sută).

În momentul de față, soia ocupă locul întîi în producția mondială de ulei comestibil. La toate acestea trebuie adăugată capacitatea plantei de a îmbunătăți fertilitatea solului și posibilitățile de mecanizare integrală a culturii, fără dificultăți, cu o productivitate a muncii deosebit de ridicată.

În prezent, cea mai mare cantitate de soia este utilizată în hrana animalelor, ea transformîndu-se astfel în proteine de calitate superioară. Este totuși de reținut că soia intră în proporție din ce în ce mai mare direct în regimul alimentar al oamenilor. În S.U.A., produsele derivate din boabele de soia intră în componența a numeroase produse alimentare. Se manifestă un interes deosebit pentru utilizarea soiei ca adaos la preparatele din carne.

Pe glob soia se însămînțează pe circa 35 milioane hectare, din această suprafață circa 18 milioane de hectare revenind S.U.A. În țările din Extremul Orient se cultivă cu soia în jur de 16 milioane de hectare. Față de perioada 1948—1952, suprafața însămînțată cu soia pe glob s-a dublat.

În strategia împotriva foametei, toate leguminoasele pentru boabe — adică, pe lîngă soia, mazărea, fasolea, lintea, bobul, năutul, arahidele — pot fi considerate ca plante de enormă importanță pentru diferitele zone din geografia foamei, întrucît toate pot produce cantități mari de substanțe proteice. Dar, pe lîngă producția de proteine, toate leguminoasele îmbogățesc solul în azot, prin intermediul bacteriilor de pe rădăcină, cu care trăiesc în simbioză.

În timp ce azotul produs pe cale sintetică în mari uzine chimice costă enorm de scump (în anul 1974, producția a 40 milioane tone de azot substanță activă a valorat 8 miliarde de dolari), azotul fixat în sol, din atmosferă, de către bacterii nu costă nimic. Către anul 2000, pentru a obține produsele agricole necesare omenirii la acea epocă, vor trebui construite încă 400—500 de noi uzine de îngrășăminte azotoase, pentru o singură uzină fiind necesare investiții de aproape 100 milioane de dolari. Transportul, depozitarea și aplicarea îngrășămintelor chimice cu azot pretind cheltuieli tot așa de mari ca și producerea lor. Iată de ce aceste plante prezintă o importanță dublă, ca

furnizori de alimente bogate în proteine și factori de îmbogățire a solului în azot, element de bază în sporirea producției agricole. Un calcul simplu ne poate duce la concluzia că cele 60 milioane de hectare cu leguminoase pentru boabe, cît se cultivă în prezent pe glob, aduc anual în sol din atmosferă peste 4 milioane tone de azot fără nici un efort omenesc.

O sursă importantă de substanțe proteice o constituie plantele cu semințele bogate în ulei — floarea soarelui, arahidele, susanul și altele. După extragerea uleiului din semințe rămîn așa-zisele turte sau șroturi, al căror conținut în substanțe proteice trece de 30 la sută. Creșterea de plante oleaginoase înseamnă creșterea producției a două componente de bază în alimentație: grăsimi și proteine.

Eforturile oamenilor de știință îndreptate spre combaterea subnutriției și malnutriției au în vedere, printre altele, și creșterea rezervelor de proteine asimilabile de către om. Or, se știe că plantele verzi a căror viteză de creștere relativ ridicată le face extrem de atractive, prezintă inconvenientul de a nu sintetiza proteine asimilabile direct de către om decît în proporție destul de scăzută. Celelalte proteine preparate în „laboratorul verde" al plantei — frunza — au o greutate moleculară foarte mare și nu devin asimilabile decît după un „atac" microbian ce le scindează în segmente de dimensiuni mai reduse. Acest proces are loc în stomacul rumegătoarelor, iar randamentul de transformare a proteinelor vegetale în proteine animale digerabile este foarte scăzut. Tocmai pentru a evita asemenea inconveniente, cercetările recente încearcă „scurtcircuitarea" acestui proces, mai precis obținerea directă de proteine alimentare, pe cale industrială, din rezervele neasimilabile ale plantelor, cu deosebire din cele situate în frunze.

Studiile întreprinse la sfîrșitul anilor '70 au demonstrat faptul surprinzător că una dintre cele mai indicate surse de proteine alimentare foliare este tutunul. Într-adevăr, dr. S. W. Wildman de la Universitatea din California a stabilit că prin însămînțări dese, prin tăieri repetate ale frunzelor tinere, precum și printr-un tratament de extracție adecvat, se poate obține un randament de proteine cel puțin egal cu cel al mult lăudatei „plante-minune" care se consideră a fi soia. Mai mult, fibrele vegetale ră-

mase după extracția proteinelor s-au dovedit a fi o materie primă excelentă pentru industria țigărilor. Produsele obținute pe această cale sînt chiar de preferat celor clasice, dat fiind că îndepărtarea unora dintre componentele nocive face tutunul deproteinizat mult mai puțin toxic, iar frunzele tinere conțin, pe de altă parte, mult mai puține gudroane decît cele mature.

Oricum, cifrele sînt pe deplin elocvente: de pe un hectar de teren agricol se pot obține 3,5 tone de proteine prin cultura tutunului, în timp ce dacă s-ar cultiva aceeași suprafață cu lucernă ar rezulta numai 2,7 tone, iar dacă cultura ar fi de soia „randamentul" de proteine foliare ar fi de numai 0,8 tone. Iată deci suficiente motive pentru ca interesul oamenilor de știință să se concentreze din nou asupra tutunului, de data aceasta însă nu pentru a-l incrimina ca pe un periculos dușman al sănătății omului ci, din contră, pentru a-i lăuda înaltul ... potențial nutritiv. Recent a fost chiar înființată o societate tehnico-economică menită să valorifice „mina de aur" proteică ce este tutunul. Ea a pus la punct și a brevetat un procedeu industrial de extragere a diferitelor categorii de substanțe utile din frunzele de tutun, evident în primul rînd a celor nutritive. De circa doi ani acest procedeu este aplicat într-o mică stațiune experimentală construită în statul Carolina de Nord, S.U.A., unde cultura tutunului este foarte răspîndită și are o veche tradiție.

Tehnologia de extracție este departe de a fi foarte complicată. Mai întîi, masa verde a frunzelor tinere proaspăt tăiate este supusă unei operații de „măcinare", de fărîmițare intensă. Adaosul unei soluții diluate de bisulfit de sodiu, cu concentrația de numai 0,5%, favorizează procesul de solubilizare a proteinelor. Urmează apoi presarea „piureului" vegetal astfel obținut și separarea unei „licori" verzi ce nu este altceva decît o soluție de proteine și alte substanțe organice de mare interes. După o încălzire pînă la 52°C, urmată de o răcire bruscă, se precipită o primă fracțiune proteică. Separată prin centrifugare și filtrare, ea dă naștere unei alte „licori", brună de această dată. Prin modificarea acidității (*p*H=4), se realizează depunerea unei a doua fracțiuni de substanțe proteice, ce se separă după aceleași procedee.

Sub aspectul compoziției chimice, cele două „produse" proteice sînt extrem de valoroase. Primul dintre ele conține mai bine de 30% din cantitatea totală de proteine foliare. Solubilă în apă, lipsită de orice miros sau gust, fracțiunea are o valoare nutritivă superioară proteinelor din lapte (caseina), considerată în alimentație ca un adevărat etalon. Acest amestec de proteine ar putea deveni, după îndepărtarea ionilor de sodiu și potasiu, un aliment de bază pentru bolnavii cu afecțiuni renale sau gastrointestinale. De asemenea, el ar putea sta la baza unui lapte artificial extrem de hrănitor. În sfîrșit, cum proteinele din această fracțiune se gelifică la temperatură mai ridicată, asemenea albușului de ou, fără a-și diminua cu ceva valoarea nutritivă, li se poate prevedea un viitor extrem de interesant și ca adaos alimentar în diverse produse pe bază de carne, lapte sau ouă.

Cea de-a doua fracțiune proteică este și ea solubilă în apă. Componentele ei sînt deosebit de indicate pentru aditivarea diferitelor alimente în vederea creșterii valorii lor nutritive. Fapt deosebit de interesant, ambele fracțiuni prezintă un conținut în aminoacizi esențiali net superior celui al soiei.

Dar nici reziduurile rămase de la extracția proteinelor nu sînt lipsite de interes. Astfel, în soluția apoasă se mai află amidon, proteine insolubile, precum și, mai ales, pigmenți organici de genul beta-carotenilor și santofilinei a căror valoare comercială este foarte ridicată. La rîndul său, materialul fibros remanent este constituit, în proporție de 50%, din celuloză și hemiceluloză și, în proporție de 13% din proteine citoplasmatice nedigerabile. Folosit ca furaj, el are valoarea nutritivă a lucernei. La fel de avantajoasă este însă și folosirea lui ca materie primă pentru țigări „dietetice", mult mai puțin toxice, dar cu aceleași arome și gust. Printr-o asemenea valorificare superioară, cultura tutunului devine extrem de rentabilă: valoarea produselor obținute de pe un hectar de teren agricol se ridică la peste 15 500 de dolari.

Ce perspective deschid însă aceste cercetări? În primul rînd este vorba despre o „rentabilizare", prin obținerea de produse alimentare deficitare la scară planetară,

a vastelor culturi de tutun ce însumează la ora actuală în lume 2,5 milioane de hectare. Imobilizarea acestei imense suprafețe agricole, ce cuprinde de multe ori terenuri dintre cele mai bune, numai pentru realizarea de produse menite a fi transformate în ... fum, este, fără îndoială, un lux pe care omenirea nu poate și nu trebuie să și-l permită.

Dar producția de masă verde în cultura tutunului poate fi încă mult crescută. Studiile recente au arătat că „îndesirea" plantelor — între 100 000 și 110 000 plante la hectar — conduce la o sporire însemnată a recoltei de frunze. Mai mult, tăierea la numai 10 cm de sol a frunzelor permite recoltarea la fiecare 5—6 săptămîni, pe toată durata de vegetație a plantei. Alte cercetări promit să evite, prin controlul sever al vegetației din sol, faza de trecere a plantelor tinere de tutun prin răsadnițe și să faciliteze însămînțarea sa directă. În sfîrșit, soiuri noi de tutun, de mare productivitate, par să ridice nivelul producțiilor de masă verde la hectar dincolo de pragul incredibil de înalt de 145 de tone.

O dată realizată o asemenea producție însemnată de proteine foliare, fabricile de alimente din tutun ar putea cunoaște o mare răspîndire. Numai circa 90 hectare cultivate intensiv ar fi suficiente pentru funcționarea continuă a unei instalații de extracție a proteinelor cu o capacitate de prelucrare de 40 tone/oră.

Se ridică totuși o întrebare firească: se va obișnui omul să consume proteine din tutun? Cum va fi privit un aliment obținut din ... „iarba dracului"? Răspunsul este desigur dificil de anticipat. Oricum, însă, numeroși specialiști de mare reputație nu ezită să afirme că opțiunea în fața căreia să află omenirea este neapărat cea pentru proteinele foliare și că, între soiurile „concurente", tutunul are cele mai mari șanse de reușită.

Criteriul central însă în aprecierea eficienței acțiunii uneia sau alteia dintre plantele de cultură în „campania" dusă de oamenii de știință împotriva foametei îl constituie conținutul acestora în proteine. Cum se explică acest fapt? Proteinele, substanțe cu moleculă complexă, în compoziția cărora intră atomii de carbon, hidrogen, oxigen, azot

și uneori sulf, îndeplinesc rolul cel mai important în fenomenul vieții. Din punct de vedere nutrițional, ele reprezintă 50—70% din substanța organică a corpului animal, constituind materia principală din țesuturi, organe, enzime, hormoni, pigmenți respiratori și alte componente ale vieții. Protoplasma celulelor, în care se petrec reacții chimice complexe, este alcătuită în cea mai mare parte din proteine. De altfel, proteinele sînt considerate de mulți „materie vie prin excelență" și dintr-o asemenea concepție se trage și cuvîntul proteină (proteion=cel dintîi). În clasa mare a proteinelor intră numeroase substanțe cu structură foarte complicată, rezultată din înlănțuirea unor unități mai simple: aminoacizii („pietrele de construcție ale organismului"). Se cunosc 30 de aminoacizi diferiți care intră în structura proteinelor.

Cum se știe, în dezbaterile care privesc prezentul și viitorul alimentației umane, problema proteinelor ocupă un loc central. Și acest fapt nu-i întîmplător. Un organism uman în formare, nutrit insuficient cu proteine, rămîne degenerat biologic, se dezvoltă anormal, purtînd amprenta acestei insuficiențe toată viața; pe de altă parte, un organism în vîrstă, devenit victima „foamei de proteine", este incapabil să ducă o viață normală. Și aceasta deoarece proteinele sînt elementul indispensabil organismului pentru „construcția" și „repararea" celulelor și a țesuturilor uzate, ca și pentru formarea anticorpilor.

Pentru activitatea normală a celulelor, organismul uman are nevoie practic de toți aminoacizii care stau la baza proteinelor. Unii aminoacizi, și anume 9 la număr (dintre care printre cei mai importanți valina, leucina, izoleucina, lizina) nu pot fi sintetizați de organismul uman și de aceea obligatoriu trebuie luați ca atare din hrană. Aceștia sînt aminoacizii esențiali, iar prezența lor în anumite proporții în constituția proteinelor le conferă valoarea biologică. Lipsa sau insuficiența în organism a unuia sau mai multor aminoacizi esențiali atrage după sine anumite stări și maladii cu consecințe uneori foarte grave. În lipsa lizinei creșterea organismului încetează. Lipsa valinei provoacă simptome nervoase grave; triptofanul este necesar la formarea hemoglobinei, în sinteza acidului

nicotinic etc. Ceilalți aminoacizi, numiți neesențiali, pot fi sintetizați de organism, din alte substanțe, prezența lor în alimente nefiind obligatorie. Necesarul de proteine al organismului uman se asigură prin hrana pe care o consumă în fiecare zi. Sub aspect calitativ, într-o rație alimentară proteinele cu valoare biologică ridicată (bogate în aminoacizi esențiali) trebuie să reprezinte cel puțin 45—50% din cantitatea totală de proteine, restul putîndu-se acoperi pe seama celorlalte categorii de proteine. Proteinele cu valoare biologică mare sînt în primul rînd proteinele animale din carne, lapte, produse lactate, ouă, pește.

Omul și animalele consumă însă cantități însemnate de proteine de origine vegetală (din cereale, fasole, mazăre, bob, năut, plante producătoare de ulei etc.), a căror valoare biologică nu se ridică în toate cazurile la nivelul proteinelor animale. Nevoia de proteine a lumii însă nu este acoperită în prezent și nici în perspectivă de produsele animale, ci de produsele vegetale. Circa 55% din producția mondială de proteine vegetale se utilizează pentru creșterea animalelor. Acestea returnează însă omului sub formă de carne, lapte, ouă etc. numai un sfert din cantitatea consumată. Puțini știu, de pildă, că pentru 1 kg de proteină din carne se consumă peste 4 kg proteină vegetală (pasăre 4,6 kg, porc 7 kg, vită 10 kg, miel 12,5 kg). Așa stînd lucrurile, este limpede că la baza acoperirii necesarului de proteine nu poate sta niciodată numai proteina animală. La ea se adaugă proteina vegetală și aceasta poate înlocui în cea mai mare parte proteina animală cu efecte incontestabile.

Cercetări recente, inclusiv din țara noastră, au arătat faptul că prin combinarea diverselor proteine vegetale, în anumite proporții, se poate ajunge în totalitate la potențialul aminoacizilor esențiali din proteinele animale. Copiii între 1—2 ani s-au dezvoltat excepțional fizic și psihic, fiind hrăniți numai cu proteine vegetale (grîu, orz, soia) în proporție bine stabilită pentru acoperirea integrală a necesarului de aminoacizi esențiali.

Plantele de cultură conțin în semințele lor o cantitate ridicată de substanțe proteice, așa cum este redat în tabelul de mai jos.

Conținutul în substanțe proteice al boabelor la diferite plante de cultură

Specia	% *substanțe proteice*	*Specia*	% *substanțe proteice*
Grîu	12—16	Năut	23,6
Orz	12—13	Bob	28,8
Porumb	8—14	Lupin alb	37,0
Orez alb	7—9	Arahide	29,8
Mazăre	27,8	Floarea-	
Fasole	24,6	soarelui	16,2
Soia	38,5	Susan	23,8
Linte	28,6	Bumbac	19,8

În comparație cu aceste plante, carnea de bovine conține 19% substanțe proteice, laptele 3%, ouăle 12%.

Sub aspectul calității, trebuie menționat că și proteinele vegetale conțin aminoacizii esențiali atît de necesari organismului uman. Unele proteine, ca cele din boabele de leguminoase, în special cele din boabele de soia, sînt echivalente și chiar superioare din punct de vedere al valorii biologice proteinelor din carne. Într-adevăr, proteinele din grîu nu acoperă cerințele organismului uman în lizină, metionină, izoleucină și triptofan. În schimb, proteinele din soia, ca valoare biologică, sînt la nivelul proteinelor din ou și ele pot înlocui integral carnea în alimentația omului. Introducerea în consumul populației a unor variate sortimente alimentare din boabele de soia, după extragerea uleiului, ar constitui un salt de mare însemnătate în calitatea alimentelor. Boabele de fasole au un conținut mare în aminoacizi esențiali (lizină, metionină, triptofan etc.), ca și boabele celorlalte specii de leguminoase (lintea, bobul, lupinul etc.). Valoare biologică ridicată au și proteinele din semințele de floarea-soarelui, foarte apropiată de cerințele organismului uman. După extragerea uleiului, turtele de floarea-soarelui, de bumbac, arahidele prezintă interes deosebit pentru conținutul în proteină.

Pentru înlăturarea deficitului de proteină cu care se confruntă astăzi omenirea, „grupul consultativ pentru proteine" din cadrul organizației FAO menționează „o nouă revoluție verde", aceea a leguminoaselor, boabele acestei grupe de plante fiind cele mai bogate în proteine și de cea mai bună calitate. Există părerea că leguminoasele pentru boabe constituie „principala speranță" pentru soluționarea problemei deficitului de proteine în lume. Extinderea culturii plantelor leguminoase și creșterea producției la hectar la aceste plante ar aduce, alături de proteina animală și de cereale, o importantă contribuție la satisfacerea necesităților omenirii cu substanțe proteice.

În țara noastră, dintre leguminoasele pentru boabe cea mai mare importanță o prezintă soia, România fiind cel mai mare producător din Europa. Soia poate fi numită fără greșeală „carne vegetală". Ea s-a extins în cultură în S.U.A. la peste 28 milioane ha, asigurîndu-se o producție totală de peste 60 milioane t anual. Boabele de soia pot înlocui complet făina de carne în alimentația animalelor, precum și carnea în hrana oamenilor. În S.U.A., ea a fost pe drept supranumită „cultura de aur". Pentru consumul direct de proteine, importanță deosebită prezintă în țara noastră și fasolea, care se cultivă în prezent pe o suprafață de 140 mii ha.

Există astăzi largi preocupări în lume pentru îmbunătățirea valorii biologice a proteinelor din cereale, acestea acoperind circa 60% din necesarul de proteină al lumii. Direcțiile în care se merge sînt îndreptate pe de o parte spre creșterea conținutului total de proteină, iar pe de altă parte spre creșterea conținutului acesteia în aminoacizi esențiali.

Încercările de perfecționare a calităților plantelor agricole beneficiază din plin de aportul unei științe noi, revoluționare prin perspectivele pe care le deschide studiului și aplicațiilor din lumea viului, dar care se bazează în cea mai mare măsură pe cuceririle chimiei moderne: genetica. Într-adevăr, constatarea că toate caracteristicile pe care le au ființele vii — de orice gen sau specie ar fi ele, de la cele mai simple la cele mai evoluate, inclusiv omul — depind de o structură chimică, de o „bancă de informații" formată din „litere", „cuvinte" și „fraze" de natură chimică, materializate în structuri și secvențe de aminoacizi, în gene și cromozomi, a deschis orizonturi nebănuite cu numai cîteva, foarte puține, decenii în urmă biologiei.

Gena este astăzi una dintre cele mai interesante și studiate „personaje" ale biologiei moderne. Numele ei a fost introdus pentru prima dată în limbajul științific în anul 1909 de către savantul danez W. Johannsen. El provenea de la grecescul *genna*=naștere, origine și desemna o unitate discretă a eredității organismelor, indivizibilă și localizată în cromozomi. Studiile de biologie moleculară care s-au efectuat în deceniile următoare au conturat o imagine tot mai clară a acestui personaj atît de misterios la început.

Gena poate fi definită, în prezent, drept un segment din macromolecula de acid dezoxiribonucleic sau acid ribonucleic, ce cuprinde o secvență anumită de nucleotide. Ea acționează ca unitate funcțională și conține informația genetică necesară sintezei unei catene polipeptidice sau unei alte biomolecule.

Este bine cunoscut, în prezent, rolul extrem de important al proteinelor în realizarea structurilor materiei vii și în metabolismul celular. Viața nu este posibilă în absența proteinelor. Dar proteinele, deși sînt extrem de diverse în natură, în prezent fiind cunoscute peste 100 000 de proteine vegetale și animale, sînt alcătuite totuși exclusiv din 20 tipuri de aminoacizi. Prin combinarea diferită a acestor aminoacizi rezultă multitudinea de proteine din natură. Genele, în esență, conțin programul nu numai al autoreproducerii lor la descendenți (replicație), dar și al alcătuirii acestor proteine, adică al ordinii de succesiune a diferiților aminoacizi.

Una din marile realizări ale biologiei contemporane o constituie descifrarea codului genetic. După cum se știe, macromolecula de DNA este formată din două catene polinucleotidice complementare și răsucite elicoidal una în jurul celeilalte. Fiecare catenă este formată dintr-o înlănțuire de 4 tipuri de nucleotide, care însă — ținînd seama de mărimea macromoleculei — se pot succede într-o infinitate de tipuri. Secvența extrem de variată a nucleotidelor în cadrul macromoleculelor de acizi nucleici determină capacitatea acestora de a înregistra biochimic informația genetică a viețuitoarelor. Codul genetic constituie un ade-

vărat alfabet al vieții, fiecare organism viu avînd propriul său program genetic alcătuit dintr-un număr mai mic sau mai mare de gene care determină practic toate caracteristicile structurale și funcționale ale organismelor.

În ceea ce privește dimensiunile genelor, ele variază foarte mult, în funcție de mărimea mesajului genetic pe care-l conțin. Cunoscutul genetician american J. Watson, laureat al Premiului Nobel a calculat că la bacterii, ținînd seama de mărimea medie a moleculelor proteice, genele sînt alcătuite dintr-o secvență de 900—1 500 de nucleotide.

Numărul de gene pe care-l posedă diferite organisme este și el foarte variabil, în funcție de complexitatea structurală și funcțională a organismelor respective. Cele mai mici virusuri au un program genetic alcătuit din numai cîteva gene, bacteriile au 2 000—3 000 de gene, iar mamiferele au cîteva zeci de mii de gene. După aproximările actuale, programul genetic al speciei umane este alcătuit din 30 000—40 000 de gene sau chiar mai mult.

După ce geneticianul John Beckwith izolează, pentru prima oară, în anul 1969, o genă individualizată de la bacteria „Escherichia coli", numai un an mai tîrziu se realizează un nou mare pas înainte în studiul microchimiei vieții: în 1970 profesorul G. Khorana, împreună cu o echipă de cercetători de la Universitatea din Wisconsin, S.U.A., reușește să sintetizeze prin intermediul unor tehnici sofisticate prima genă artificială din lume. Chiar dacă era vorba despre o genă de dimensiuni relativ modeste, formată dintr-un segment de DNA care conținea o secvență de 77 nucleotide, importanța acestei realizări era deosebită, date fiind perspectivele noi deschise.

Într-adevăr, de acum înainte oamenii de știință puteau trece de la descifrarea structurilor chimice intime ale eredității organismelor vii, la modificarea acesteia în sensul dorit. Se năștea astfel un nou și fascinant domeniu al cunoașterii umane — ingineria genetică. În ce constă ea? Prin inginerie genetică se înțelege, la ora actuală, un complex de tehnici și metode prin care sînt posibile transferul de informație genetică, respectiv de gene, de la un organism la altul, uneori chiar de la o specie la alta, precum și sinteza artificială de genoame cu caracteristici determinate anticipat. Cu alte cuvinte, cu ajutorul ingineriei genetice

este astăzi posibilă manipularea artificială a materialului genetic la nivelul macromoleculelor de DNA în care se găsește înscrisă informația genetică.

Este adevărat că încă din antichitate, dar mai ales în ultimele secole, oamenii aveau posibilitatea să creeze forme noi de plante și animale, mai ales prin hibridare și selecție. Ingineria genetică a apărut însă o dată cu genetica moleculară, care a făcut posibil studiul eredității viețuitoarelor la nivel molecular, adică la nivelul acizilor nucleici. În anul 1944, geneticianul american O. T. Avery și colaboratorii săi au făcut o experiență celebră prin care au extras DNA de la pneumococi virulenți și l-au introdus în mediul de cultură al unor pneumococi nevirulenți. Aceștia din urmă s-au „transformat", devenind virulenți. Experimentul acesta a însemnat punerea bazelor geneticii moleculare și, în același timp, prima experiență de inginerie genetică, prin care s-au transferat artificial gene de la un organism la altul.

În ultimii ani, cercetările din domeniul ingineriei genetice s-au dezvoltat considerabil. Pe această bază au apărut noțiuni noi, cum sînt chirurgia genetică, sinteza de genoame, manipularea genetică, transferul de gene, sinteza artificială de gene, hibrizi moleculari etc., care ilustrează perspectivele actuale ale ingineriei genetice. Un rezultat de mare importanță fundamentală și aplicativă este realizarea recentă a transferului unor gene de la o specie bacteriană la alta, de la bacterii la o cultură de celule umane, precum și transferul unor gene de la virusuri la om.

Astăzi, transferul genelor de la o specie la alta, uneori foarte îndepărtate din punct de vedere filogenetic, a intrat în practica unor laboratoare de genetică, aceasta în primul rînd pentru că metoda prezintă importanță deosebită și mari perspective de aplicație în agricultură, medicină, industria farmaceutică etc.

Dar să vedem acum care sînt cîteva dintre cele mai importante implicații ale ingineriei genetice în cultura plantelor și creșterea animalelor. Prin folosirea metodelor ingineriei genetice a devenit posibilă obținerea artificială de plante haploide, adică ce conțin numai jumătate din numărul de cromozomi ai speciei respective, prin cultura polenului. Iată deci că dintr-un grăuncior de polen se

poate azi obține o plantă întreagă. Aceste plante sînt pure din punct de vedere genetic, astfel că prin tratarea lor cu colchicină sînt posibile dublarea numărului de cromozomi și obținerea de linii izogenice pure genetic. Aceste linii constituie un material extrem de valoros pentru ameliorarea plantelor, adică pentru crearea de soiuri noi și hibrizi de mare randament.

Tot în domeniul ameliorării plantelor s-a reușit să se transfere gene ce determină rezistența la boli de la specii sălbatice la plantele cultivate, de pildă, la grîu. Se întrevede deci posibilitatea renunțării la tratamentele cu fungicide și insecticide ale plantelor, prin obținerea de forme rezistente.

O realizare deosebită a ingineriei genetice din ultimii ani o constituie hibridarea celulară. Prin fuzionarea artificială a unor protoplaste (celule vegetale lipsite de peretele celular celulozic) în culturi celulare, doi cercetători americani au obținut în 1972 un hibrid între două specii de tutun, care înglobează cromozomii lor, întocmai ca hibrizii sexuați. Metoda aceasta va face posibilă crearea unor hibrizi între specii foarte îndepărtate, care nu se pot obține pe cale sexuată. De pildă se vor putea crea hibrizi între porumb și soia, care vor avea productivitatea porumbului și cantitatea mare de proteine a soiei.

Dar asemenea realizări au depășit deja stadiul de proiect. *Triticale* a fost prima cereală sintetizată de om, operație reușită încă în cursul deceniului '70. Ea reunește înaltele calități nutritive ale grîului *(triticum)* cu rezistența la condițiile excesive de climă ale secarei *(secale)*. Noua plantă conține 42 de cromozomi de la grîul moale, 28 de la cel dur și 14 de la secară. În cultura pe suprafețe mari se obțin producții însemnate, de 7 000—8 000 kg boabe la hectar. Deosebit de avantajoasă este și înalta valoare nutritivă a noii cereale, *triticale* avînd un conținut ridicat în proteine superioare și aminoacizii esențiali pe care grîul nu îi conține. Mai mult, *triticale* este un soi nou de plantă, mult perfectibil în viitor, ceea ce-i conferă perspective extrem de favorabile. Să menționăm în acest sens numai posibilitățile de creștere a conținutului de proteine spre 16% sau chiar mai mult, fapt ce promite să facă din această plantă ce nu exista în natură cea mai eficientă cereală, sub aspect economic, din agricultura modernă.

Este, credem, interesant de semnalat că în țara noastră nu numai că s-au obținut soiuri autohtone de *triticale*, dar acestea au și fost introduse, cu rezultate excelente, în cultură.

Cazul unei alte plante sintetizate de om — chiar dacă ea nu este tot atît de avansată în drumul său spre marile cîmpuri de cultură — este similar. Despre ce este vorba? La sfîrșitul deceniului trecut, o echipă de specialiști danezi condusă de D. von Wettstein de la Institutul Carlsberg din Copenhaga a obținut, în colaborare cu cercetătorii Institutului „Max Planck" din Tübingen, R. F. Germania, „pomata", un hibrid între cartof și tomată. Noua plantă nu a fost realizată prin hibridare sexuată artificială, deși cartoful și tomata sînt specii destul de apropiate, ce fac parte din aceeași familie — Solanaceae —, ci prin fuziunea protoplastelor adică pe cale pur genetică. Asemenea plante de tip nou vor produce atît tuberculi de cartof, cît și fructe, mai mari chiar decît roșiile obișnuite. Pe de altă parte, cum ambii „părinți" ai pomatei sînt afectați de aceleași specii de dăunători, se poate anticipa posibilitatea transferării, tot prin fuziunea de protoplaste, adică printr-o singură operație, a factorilor de rezistență acumulați în cîteva generații. Pe căi „clasice" o asemenea acțiune ar dura cel puțin 20 de ani.

Dar cea mai fascinantă idee de utilizare a ingineriei genetice în agricultură este desigur fixarea directă de către plante a azotului atmosferic.

Azotul este unul dintre cele mai importante elemente care intervin în nutriția minerală a plantelor. De aceea, pe plan mondial, s-a dezvoltat considerabil producția de îngrășăminte chimice pe bază de azot. Dacă materia primă pentru această industrie este azotul atmosferic care nu costă practic nimic, în schimb, cantitatea de energie necesară fixării azotului, precum și uzinele complicate în care se fabrică îngrășămintele necesită cheltuieli foarte mari. Pe de altă parte, cantitățile imense de îngrășăminte necesare fertilizării solurilor necesită mijloace de transport costisitoare, la care se adaugă faptul că numai o mică parte din îngrășămintele respective sînt utilizate de către plante. Cea mai mare parte din îngrășămintele amoniacale sînt spălate de ape și se acumulează în rîuri, lacuri etc., contribuind la poluarea mediului ambiant.

Azotul, ca și alte elemente importante din punct de vedere biologic prezintă un ciclu în care are loc trecerea permanentă de la starea minerală la cea organică și viceversa. În esență, fixarea azotului molecular atmosferic (N_2) constă în conversia sa în amoniac, formă sub care el este accesibil plantelor și apoi animalelor, fiind utilizat mai ales în sinteza aminoacizilor și respectiv a proteinelor vegetale și animale.

Prin descompunerea materiilor organice de origine vegetală și animală, azotul este restituit în sol sub formă de amoniac. Așa se explică utilizarea în agricultură a îngrășămintelor organice. Pe de altă parte, prin procesul de nitrificare are loc conversia amoniacului din sol în nitriți și apoi nitrați, iar prin denitrificare, reducerea microbiană a nitraților și eliberarea azotului atmosferic. În felul acesta ciclul se încheie.

Încă din secolul trecut s-a descoperit un fapt foarte important și anume că unele plante, cum sînt leguminoasele (mazărea, fasolea, bobul, lupinul, trifoiul, soia etc.) sînt capabile să fixeze azotul atmosferic cu ajutorul unor bacterii cu care trăiesc în simbioză. De pildă, unele bacterii fixatoare de azot, prin infectarea țesuturilor rădăcinii, determină formarea unor nodozități, în care celulele bacteriene se modifică substanțial morfologic, devenind bacteroizi și care realizează fixarea activă a azotului atmosferic. Din această simbioză profită ambele părți: plantele obțin azotul necesar nutriției lor minerale, iar bacteriile obțin compușii organici realizați în urma fotosintezei de către planta gazdă și de care au nevoie pentru creșterea și înmulțirea lor.

În ultimii ani s-au descoperit și alte plante ce realizează astfel de simbioze cu bacteriile fixatoare de azot. De pildă, în regiunile tropicale și subtropicale, planta ierboasă *Paspalum notatum* trăiește în simbioză cu bacteria *Azotobacter paspali,* astfel că are posibilitatea să se dezvolte foarte bine pe nisipuri sărace. În mod similar, aninul (genul *Alnus*) din regiunile temperate trăiește în simbioză cu o bacterie fixatoare de azot, valoarea sa forestieră, mai ales pentru regiunile sărace, fiind foarte mare. Astfel, în Olanda aninul este folosit, în asociație cu alte specii de arbori, pentru consolidarea digurilor.

Astăzi se știe că fixarea azotului atmosferic este realizată de numeroase specii de bacterii și alge albastre-verzi. Printre bacteriile fixatoare de azot pot fi citate speciile genurilor *Rhizobium, Azotobacter, Desulfovibrio, Desulfatomaculatum* etc., care realizează simbioze cu diferite specii de plante.

Algele albastre-verzi fixatoare de azot au o mare însemnătate ecologică deoarece ele folosesc energia solară în procesul fotosintezei și pe această bază pot realiza fixarea azotului atmosferic. În acest fel ele contribuie la îmbogățirea în azot, de pildă a terenului din orezării, și constituie cea mai importantă sursă de azot a mărilor și oceanelor. De asemenea, algele albastre-verzi pot forma asociații cu unele specii de ciuperci și dau naștere lichenilor, care pot trăi în condiții de viață extrem de vitrege.

Mecanismul intim al fixării azotului a rămas multă vreme necunoscut. De abia după anul 1960, un grup de cercetători din cadrul laboratoarelor Du Pont de Nemours (S.U.A.) au reușit să izoleze enzima nitrogenaza de la bacteria *Clostridium pasteurianum,* enzimă ce catalizează fixarea azotului atmosferic la microorganismele procariote (bacterii, alge albastre-verzi) etc. Ulterior, nitrogenaza a fost izolată de la numeroase specii de microorganisme, descoperindu-se un fapt important, și anume că la toate speciile fixatoare de azot există același sistem enzimatic care catalizează acest proces. În prezent structura acestei enzime este bine cunoscută: ea este formată din două molecule proteice, una mai mare, cu greutatea moleculară de aproximativ 220 000, și alta mai mică, cu o greutate moleculară de aproximativ 60 000. Molecula proteică mai mare conține 22—36 atomi de fier, 2 atomi de molibden și mai mulți atomi de sulf, în timp ce molecula mică conține 4 atomi de fier și cîțiva atomi de sulf, neavînd molibden. Cele două molecule proteice nu sînt active individual, ci numai împreună și, ceea ce este foarte important, în absența oxigenului atmosferic. Faptul că multă vreme nu s-a reușit izolarea enzimei s-a datorat tocmai prezenței oxigenului în cursul procesului de extracție chimică a nitrogenazei.

Cu toate acestea, microorganismele aerobe reușesc să fixeze azotul atmosferic, deoarece ele prezintă diverse mecanisme de protejare a enzimei de prezența oxigenului.

Astfel, unele microorganisme, cum sînt de pildă bacteriile din genul *Azotobacter*, au o respirație extrem de intensă, fapt care menține concentrația oxigenului la un nivel scăzut în apropierea nitrogenazei. În alte cazuri, în nodozitățile leguminoaselor se găsește în cantitate mare un pigment, leghemoglobina, similar hemoglobinei din sîngele mamiferelor, care fixează oxigenul și protejează astfel enzima.

Mecanismul exact de acțiune al sistemului enzimatic extrem de complex, reprezentat de nitrogenază, nu este încă bine cunoscut. Ceea ce s-a dovedit în mod sigur este faptul că pentru fixarea azotului atmosferic sînt necesare fierul și molibdenul (metale tranziționale), enzima hidrogenaza pentru activarea moleculei de hidrogen care este asociată nitrogenazei, precum și adenozintrifosfatul (ATP) ca donor de energie.

Complexul enzimatic reprezentat de nitrogenază determină transferul de electroni de la atomii de fier ai moleculei proteice mici, la atomii de fier ai moleculei mari care s-a combinat prealabil cu azotul atmosferic. Acest proces de transfer de electroni se repetă de 6 ori, după care molecula proteică mare eliberează substratul reprezentat de azotul atmosferic sub forma a două molecule de amoniac. Pentru acest proces sînt consumate 15 molecule de ATP care sînt hidrolizate în ADP (adenozin difosfat) și fosfat anorganic.

Sinteza enzimei — nitrogenaza — este determinată de genele nif, gene care se găsesc plasate pe cromozomul bacterian într-un loc apropiat de cel al genelor his, care intervin în metabolismul histidinei. În ultimii ani s-a descoperit nu numai amplasarea genelor nif pe cromozomul bacterian, dar s-a reușit — ceea ce este extrem de important — transferul experimental al acestor gene de la o bacterie la alta.

Transferul genelor nif de la bacteriile fixatoare de azot la alte specii bacteriene, incapabile să fixeze azotul, prezintă o mare însemnătate, căci acesta va permite realizarea de simbioze artificiale nu numai cu plantele leguminoase, ci și cu alte specii de plante cultivate, cum sînt, de pildă, cerealele care nu vor mai avea astfel nevoie de îngrășăminte azotoase. Recent s-a reușit realizarea unei simbioze între bacterii mutante de tip *Rhizobium* și culturi de țesuturi de tutun, care, după cum se știe, nu este o plantă leguminoasă.

Se proiectează, printre altele, transferul genelor nif în cromozomul cloroplastelor, organite din celulele vegetale în care se realizează fotosinteza. Aceasta ar permite celulelor vegetale să fixeze direct azotul atmosferic. În sfîrșit, se pune problema transferării genelor nif de la bacterii direct în cromozomii celulelor vegetale. În acest fel, plantele ar putea deveni capabile să fixeze direct azotul atmosferic, fără să mai aibă nevoie de simbioza cu bacterii.

Se pare că nu este departe timpul cînd transferul genelor care intervin în fixarea azotului va aduce o contribuție primordială la mărirea recoltelor pe glob și la rezolvarea problemelor alimentare ale umanității. Ingineria genetică se plasează astfel în primele rînduri ale revoluției tehnico-științifice contemporane, contribuind substanțial la progresele societății umane.

Dar chimia modernă sprijină și transferul rapid al rezultatelor ingineriei genetice în cîmpurile de cultură prin intermediul unor metode cu totul neobișnuite, cum ar fi, de exemplu, crearea de semințe și răsaduri sintetice. După cum se știe, ameliorarea genetică a plantelor este un proces laborios, a cărui durată este mult eșalonată în timp. Hibrizii nou creați, în ciuda proprietăților lor spectaculoase, nu pot fi rapid transferați în producția agricolă deoarece lipsesc pur și simplu marile cantități de sămînță necesare. Obținerea acestora este, din nou, o chestiune de timp, de investiții materiale ridicate, de imobilizare a unor mari suprafețe cultivabile. Iată motivele pentru care semințele hibrizilor de mare productivitate sînt nu numai scumpe, ci și destul de greu de obținut.

Dar, remarcau pe bună dreptate specialiștii, însăși genetica a pus la dispoziția omului și o metodă rapidă pentru „copierea" celulelor. Aceasta nu este alta decît clonarea, procedeu prin intermediul căruia se obțin replici fidele ale organismului-sursă. Ba chiar în „serii" extrem de mari. Nu trebuie decît ca din celulele clonate să se „fabrice" semințele necesare marii producții agricole pentru ca soiurile realizate în laboratoare să poată fi într-adevăr valorificate.

Ei bine, aceasta este tocmai calea pe care au urmat-o specialiștii de la „Plant Genetics" din Davis, California.

Revista americană „Newsweek“ relata nu demult despre o reuniune de specialitate organizată aici care va intra, probabil, în istoria științei agricole. Cu acest prilej, invitații, cercetători și ziariști, au degustat un „produs“ nou, de fapt o simplă salată de țelină. Dar tulpinile crocante proveneau de această dată — fapt u .ic pînă în prezent — din răsaduri . . . sintetice.

Cum se ajunsese la o asemenea realizare? În laboratoarele lui „Plant Genetics“ fusese obținut mai demult un soi nou de țelină, extrem de interesant sub aspectul calităților biologice și al rezistenței la boli, dăunători și condiții climatice vitrege. Dar drumul său către cîmpurile de cultură părea a fi abia la început. Cercetătorul Keith Radenbaugh a avut ideea de a preleva o probă de țesut celular din tulpina noii plante. Apoi el a realizat, pornind de la aceasta, o cultură de celule clonate, „copii la indigo“ ale celulelor inițiale, ce păstrau complet nealterate informațiile genetice caracteristice noului soi de țelină.

Plasate în flacoane ce conțineau un hormon vegetal sintetic, aceste celule au generat în scurt timp un așa-numit „embrion somatic“. Or, se știe de multă vreme că în laborator se pot obține din asemenea embrioane plante identice cu cele inițiale. „Cu cît studiam mai mult proprietățile acestor embrioni somatici crescuți in vitro, declara K. Radenbaugh, cu atît mai temeinic ne convingeam de faptul că ei sînt extrem de apropiați de embrionii naturali din semințe“.

Din păcate, tocmai acest din urmă lucru lipsea. Minusculul și delicatul „firicel“ de viață nu era pregătit să înfrunte condițiile aspre din sol deoarece nu dispunea de elementul protector al învelișului celulozic al unei semințe naturale și nici de substanțele nutritive acumulate acolo, ce constituie o prețioasă rezervă de hrană, în primele zile ale perioadei de creștere. Nu i-ar putea fi însă asigurat embrionului artificial un asemenea „sprijin“?

Testarea timp de peste un an și jumătate a mai bine de 100 de substanțe a demonstrat că acest lucru este perfect realizabil. Embrionul a putut fi înglobat într-o masă de jeleu organic sintetic ce-i asigură condiții foarte bune de supraviețuire și dezvoltare. Gelatina conține nu numai uzualele îngrășăminte chimice, ci și substanțele antidăunători și chiar o colonie de bacterii fixatoare de azot ce-și

vor aduce contribuția la îmbogățirea solului cu acest prețios element.

Cum manipularea unui asemenea material — foarte asemănător ca rezistență cu . . . icrele de pește — este extrem de dificilă în condițiile tehnologiilor agricole, cercetătorii au încapsulat întreaga masă într-un strat foarte subțire de polimer sintetic biodegradabil. Asemenea răsaduri sintetice pot fi păstrate, transportate și plantate cu ușurință în sere. După o perioadă de „acomodare“, ele vor fi transplantate în cîmp și vor da recolte record.

Dacă realizarea semințelor și răsadurilor „sintetice“ este prin ea însăși o acțiune cu totul ieșită din comun, perspectivele pe care le deschide noua tehnologie sînt și mai fascinante. Într-adevăr, așa cum subliniau numeroși oameni de știință după ce a fost făcută publică „invenția“, s-a creat de acum înainte o adevărată „punte de legătură“ între laboratorul de genetică și cîmpul de cultură. Procedeul va permite realizarea cu ajutorul unor mijloace materiale relativ simple a unor cantități oricît de mari de semințe sintetice. O singură plantă ar putea furniza milioane de celule clonate, iar un singur laborator ar putea produce în tot cursul anului material săditor. Și, evident, nu numai pentru țelină sau leguminoase, ci pentru orice fel de plante.

Metodele de perfecționare a animalelor utilizate în zootehnie sînt întru totul asemănătoare celor din agricultură. Și aici ingineria genetică va aduce contribuții importante în crearea unor rase extrem de valoroase. Poate că într-un viitor nu prea îndepărtat se va reuși transferarea artificială de gene de la o specie la alta, fără hibridare, astfel că vor fi constituite specii noi cu caractere planificate. Deja s-au produs hibrizi celulari între specii extrem de diferite: om—șoarece, șoarece—găină, om—țînțar etc., care par de domeniul fanteziei.

Recent, trei echipe de cercetători din Statele Unite, Anglia și Ungaria au reușit să realizeze hibrizi celulari între plante și animale. Folosind culturi mixte între celule animale și protoplaste vegetale, s-au obținut hibrizi celulari între globule roșii de găină și protoplaste de drojdie de bere, protoplaste de tutun — celule tumorale umane, protoplaste de morcov — celule umane. Cercetările echipei conduse de Harold Smith de la Brookhaven Natio-

nal Laboratory din Statele Unite au dus nu numai la obținerea de celule fuzionate, dar, după unirea nucleilor, celulele hibride au început să se dividă.

Hibridarea celulară plante—animale înseamnă nu numai posibilități mai bune de cunoaștere a mecanismelor de funcționare a celulelor, dar chiar perspectiva introducerii unor gene animale, de pildă, care determină producerea anumitor proteine în celulele vegetale. Poate că într-o zi vom obține plante care vor produce proteine de tip animal. Ingineria genetică deschide astfel perspective pentru rezolvarea uneia din marile probleme ale umanității.

4. În curînd, proteine sintetice!

Una dintre cele mai promițătoare căi de combatere a flagelului foametei a apărut, ca și în alte cazuri, de-a lungul istoriei științei, ca rezultat al unei întîmplări. Încercînd să aplice, la sfîrșitul anilor '50, un procedeu biologic de epurare a reziduurilor petroliere, inginerul francez Alfred Champagnat a constatat că acestea constituie un mediu de cultură extrem de adecvat pentru creșterea și înmulțirea microorganismelor. Din deșeurile poluante se puteau obține, rapid și ieftin, proteine.

Ideea, ca orice idee nouă, s-a impus la început cu oarecare greutate. Totuși, cercetările efectuate în laborator dădeau rezultate din ce în ce mai promițătoare. Nu numai că se obțineau, cu ajutorul diferitelor specii de microorganisme, făinuri proteice, în cadrul unor procese de mare viteză și randament, dar aceste făinuri au dat rezultate excelente în urma testării pe animale. Astfel, încercările efectuate pe pui de găină și porci au arătat că, în comparație cu martorii de control, furajați cu făină de soia, proteinele obținute din petrol erau foarte bine asimilate și suportate. Mai mult chiar, circa 90% dintre animalele de experiență au prezentat sporuri de greutate superioare celor realizate de martori.

În urma acestor constatări s-a trecut la realizarea unor procese semiindustriale de obținere a prețioaselor furaje din petrol. În 1971 și 1972 au fost realizate, la Lavera, în sudul Franței, și în localitatea scoțiană Grangemouth, primele instalații cu o capacitate de producție mai importantă. În prezent, asemenea procedee sînt aplicate în mai multe țări ale lumii.

Care este însă calea de obținere a proteinelor din petrol? S-au impus pînă în prezent în această direcție două procedee. Primul folosește ca materie primă o fracțiune de la distilarea la 300—380°C a țițeiului, așa-numitul „petrol greu", care conține parafine normale, neramificate, cu un număr de 15—30 atomi de carbon în moleculă. Petrolul, în amestec cu apă, săruri minerale, amoniac și specia cea mai indicată de drojdie sînt introduse în tancul de fermentație. Acesta este alimentat, prin partea sa inferioară, cu aer, care aduce oxigenul necesar culturii și, în același timp, asigură un amestec intim al mediului de cultură. Prin intermediul unei supravegheri atente a temperaturii, a valorii pH-ului (cu ajutorul amoniacului) și a concentrației soluției se obțin condițiile optime care asigură dezvoltarea exclusivă a speciei de ciupercă monocelulară aleasă. În acest fel se poate renunța la sterilizarea prealabilă a instalației și a soluțiilor.

Produsele de fermentație sînt supuse centrifugării, în urma separării soluției nutritive rămînînd un amestec apos ce conține cca 15 la sută substanțe celulare solide. Spălat și uscat, el este transformat într-o pulbere proteică ce ia apoi drumul combinatelor de creștere industrială a animalelor.

Cea de-a doua metodă de obținere a proteinelor utilizează parafine normale de puritate înaltă (97,5 la sută), cu 10—23 de atomi de carbon în moleculă. Fermentația are loc în tancuri închise ermetic, în care se introduc, în afara parafinelor, apă, amoniac, aer, potasiu, magneziu, sulfați și fosfați, — componente care sînt în prealabil supuse unei termosterilizări. Apoi sînt însămînțate celulele de cultură, care se înmulțesc într-un proces continuu. Dintr-o tonă de parafină se obține circa o tonă de substanță celulară.

Avantajele esențiale ale acestor procedee, considerate pe bună dreptate revoluționare, țin pe de o parte de viteza extraordinară de creștere în greutate a masei de cultură. Astfel, în timp ce vegetalele au nevoie de una pînă la două săptămîni pentru a-și dubla greutatea, iar bovinele, de exemplu, de 5—8 săptămîni, culturile de microorganisme ating dublul greutății inițiale în numai 24—120

de minute. Pe de altă parte, calitatea nutritivă a proteinelor obținute prin culturi celulare este deosebită: conținutul de proteine este de 50—80 la sută în produsul finit (uscat), cifre care nu sînt atinse decît de soia, carnea de pește sau cea animală. Mai mult, proteinele obținute sînt formate în proporție de peste 90 la sută din aminoacizi; dintre aceștia, mai bine de jumătate sînt așa-numiții aminoacizi esențiali. Tabelul alăturat prezintă conținutul în aminoacizi esențiali (în grame la 16 g azot) al făinurilor obținute prin cultura de microorganisme, făină de pește și de soia.

Aminoacizi esențiali	*Făinuri proteice*		*Făină de pește*	*Făină de soia*
	Procedeul „normal parafinic"	*Procedeul „petrol greu"*		
Izoleucină	5,1	5,3	4,6	5,6
Leucină	7,4	7,8	7,6	7,6
Fenilalanină	4,3	4,8	4,2	5,1
Tirozină	3,6	4	3,4	3,1
Treamină	4,9	5,4	4,3	4,0
Triptofan	1,4	1,3	1,2	1,3
Valină	5,8	5,8	5,2	5,1
Arginină	5,1	5,0	5,8	7,1
Histidină	2,1	2,1	2,4	2,7
Lizină	7,5	7,8	7,7	6,4
Cristină	1,1	0,9	0,9	1,5
Metionină	1,8	1,6	2,9	1,4
Proteină brută (% în substanță uscată)	60,0	68,0	65,0	45,0

Concentrîndu-și eforturile în direcția sintezei industriale a proteinelor, cunoscuta firmă japoneză „Dainipon Ink. Corporation" a realizat un procedeu de cultură a microorganismelor pe fracții petroliere, mai precis pe normal parafine cu un număr de 13—20 de atomi de carbon în moleculă. Datorită nivelului tehnologic ridicat atins în ultimii ani, industria chimică românească a fost capabilă să asimileze procedeul elaborat de specialiștii niponi. Rezultatul acestei cooperări îl constituie Societatea mixtă româno-japoneză RONIPROT, care a construit la Curtea de Argeș o instalație de producere a proteinelor pe bază de normal parafine cu o capacitate de 60 000 t/an. Ea a intrat în funcțiune în luna iunie 1980.

Avînd la bază un procedeu de înaltă tehnicitate, fabrica de furaje din petrol asigură obținerea continuă de proteine în fermentatoare de mare capacitate. Procesul este condus cu ajutorul calculatorului electronic, iar producția este verificată pe tot parcursul ei, de la analiza purității materiilor prime și pînă la calitatea produsului finit, cu ajutorul celor mai moderne metode de analiză și control.

Proteinele din normal parafine au nu numai avantajul unei foarte mari viteze de obținere în comparație cu cele vegetale sau animale, ci și al unei compoziții extrem de avantajoase. Aceste furaje au un conținut ridicat de proteine apropiat de cel al făinii de pește și depășindu-l pe cel al șroturilor de soia. Mai mult, proteinele din normal parafine au un conținut mai ridicat de aminoacizi și vitamine. Datorită acestei compoziții, aplicarea lor în hrana animalelor a dus în mai multe țări din lume, ca și în țara noastră, la obținerea unor rezultate spectaculoase. Față de loturile martor, cărora li s-au administrat furaje agricole clasice, animalele hrănite cu petroproteine au avut sporuri de greutate net superioare: în medie 58,3 g la pui și 46,5 g la porci.

Marii producători de furaje naturale se opun însă introducerii proteinelor sintetice, așa cum, la vremea lor, producătorii de gaz de iluminat au combătut becul cu incandescență, iar mai tîrziu fabricanții acestuia din urmă au atacat lămpile fluorescente. Argumentul adus de ei constă în faptul că petroproteinele ar produce apariția cancerului.

Preocupate de elucidarea acestei probleme, organismele specializate ale O.N.U. au organizat un mare experiment. Dintre produsele cancerigene ce s-ar putea găsi în petroproteine cel mai periculos a fost apreciat a fi, de departe, benzpirenul. Or, analizele cele mai atente efectuate pe baza unor metode extrem de perfecționate au arătat că salata verde conține 0,38 părți per miliard benzpiren, cafeaua 1,3, varza 15,6, spanacul 7,41, uleiul de floa-

rea soarelui 20,2, carnea afumată 23, iar aerul unor mari orașe infinit mai mult (Londra 280, Detroit 280, Sapporo 580), în vreme ce normal parafinele ce servesc drept mediu de cultură și petroproteinele însești nu conțin decît 0,50 părți per miliard benzpiren. Studii internaționale minuțioase au demonstrat că proteinele pe bază de normal parafine nu produc nici un fel de îmbolnăvire de-a lungul a 19 generații succesive de șobolani și a 28 de generații de prepelițe.

Se pare că situația proteinelor sintetice este perfect asemănătoare cu cea a energeticii nucleare. Chiar dacă ele sînt incriminate ca fiind periculoase pentru mediul ambiant, chiar dacă obținerea lor este — sub aspect tehnologic — complexă, iar sub aspect economic destul de costisitoare încă, ele se vor dovedi, în viitor, singura alternativă posibilă. Pentru țara noastră este un avantaj deosebit acela de a-și asigura încă de pe acum un bun start în asemenea tehnologii ale viitorului.

În prezent, cercetătorii își concentrează atenția asupra unor noi căi de obținere a concentratelor proteice prin culturi de microorganisme. Mult mai avantajoasă pare a fi creșterea în combinate industriale a bacteriilor. Într-adevăr, față de drojdii, ele au avantajul de a produce o cantitate net superioară de proteine. Se caută, de asemenea, folosirea unor noi medii de cultură, cum ar fi, de exemplu, alcoolul metilic, prin intermediul cărora să se obțină o calitate din ce în ce mai ridicată a concentratelor proteice. În perspectivă, o dată cu „rafinarea" procedeelor de obținere și a produselor finale, proteinele obținute prin culturile de microorganisme vor depăși, după părerea specialiștilor, stadiul limitat al folosirii ca furaje, pătrunzînd în alimentația directă a omului.

În cercetările lor menite să ducă la identificarea de noi medii de cultură pentru microorganismele capabile de a produce proteine sintetice, specialiștii s-au orientat chiar și spre . . . deșeuri. Astfel, oamenii de știință au dovedit prin experimente de laborator deplina valabilitate a posibilităților de utilizare a deșeurilor de hîrtie pentru obținerea a numeroase substanțe utile, cum ar fi alcoolii industriali, acizii organici cu diferite utilizări în chimia organică de sinteză, antibiotice și chiar furaje. Hîrtia, care nu este altceva decît o pastă celulozică, poate fi degradată pe cale

chimică, cu obținerea unor soluții bogate în zaharuri. Aceste soluții pot servi ca medii de cultură pentru microorganisme, proces prin care se obțin concentrate proteice cu o valoare nutritivă ridicată. Deosebit de indicate pentru a fi cultivate în asemenea medii nutritive par a fi algele, în special cele filamentoase, al căror conținut în substanțe cu rol biologic important este ridicat, procedeele pentru asigurarea asimilării acestora în proporții cît mai mari de către organism sînt simple, iar condițiile climatice necesare unei bune vegetații sînt îndeplinite atît de țările calde, cît și de cele temperate.

O utilizare similară își pot găsi deșeurile de materiale plastice. O echipă de cercetători de la departamentul de biochimie medicală al Universității din Manchester, Marea Britanie, a pus la punct un procedeu de degradare a polimerilor din care sînt constituite deșeurile de plastic, în urma cărora rezultă o materie primă adecvată folosirii ca mediu de nutriție pentru cultura microorganismelor.

Același procedeu de cultură a organismelor monocelulare pentru obținerea de proteine furajere poate fi aplicat cu multă eficiență, susțin specialiștii, pentru valorificarea deșeurilor de grăsimi și uleiuri din diferite domenii industriale. Tot un grup de cercetători englezi a investigat posibilitatea de a spori aportul alimentar în grăsimi prin intermediul folosirii unei specii de drojdie, numită *Candida*. Aceasta are proprietatea de a se înmulți rapid pe deșeurile de uleiuri și grăsimi, precum și de a acumula, în interiorul celulei, o însemnată cantitate de grăsimi nutritive, al căror consum pe locuitor se cifrează în unele țări, conform rapoartelor Organizației Mondiale a Sănătății, la numai jumătate din cantitatea socotită ca minimul necesar unei alimentații normale. Specialiștii de la Universitatea din Hull au găsit două metode de a crește conținutul și, în același timp, de a îmbunătăți calitatea grăsimilor cuprinse în celulele de *Candida*. Primul dintre ele presupune adăugarea în mediul nutritiv a unor substanțe chimice ce facilitează acumularea anumitor grăsimi în microorganisme. Cel de-al doilea se bazează pe suprimarea aprovizionării cu azot a culturii de celule. Se știe că orice proteină conține azot, iar orice organism care este privat de acest element își transformă proteinele proprii în grăsimi. Folosind acest din urmă procedeu, echipa

de cercetători amintită a reușit să crească, pe deșeuri de uleiuri vegetale industriale netratate chimic, celule de *Candida* care sub microscop apăreau ca adevărate micropicături vii de grăsime.

Nici apele reziduale organice nu au fost uitate. Pentru prevenirea poluării, apele uzate de la fabricarea hîrtiei, de la abatoare și fabrici de conserve de pește ori legume sînt filtrate, reziduurile organice fiind reținute cu ajutorul unor tehnici de mare randament, cum ar fi schimbul ionic sau ozmoza. Dacă pînă în prezent aceste reziduuri organice filtrate provocau, prin acumularea lor, probleme extrem de dificil de soluționat, în prezent se conturează cu tot mai multă fermitate perspectiva folosirii lor ca medii de cultură pentru microorganisme în scopul obținerii de mase proteice furajere.

Petroproteinele pot fi „crescute" chiar și pe... gaz metan. Într-adevăr, metanul pare să devină o promițătoare sursă de carbon pentru obținerea unei producții industriale de proteină microbiană. Dealtfel, unii cercetători apreciază că gazul natural este cea mai economică sursă pentru producerea de hrană proteică în comparație cu metanolul, petrolul sau n-alcanii. La o recentă conferință a gazului natural, G. Hamer de la „Shell" a susținut aplicarea unui astfel de procedeu. El a arătat că proteinele produse prin această tehnologie ar putea să fie, din ambele puncte de vedere, nutrițional și microbiologic, superioare tuturor alimentelor tradiționale ce se consumă astăzi.

Concluzii similare au fost prezentate și de către A. N. Grigorian de la Institutul de biosinteza proteinelor din Moscova care a cultivat amestecuri bacteriene. Cultura bacteriană a fost crescută în fermentatoare cu un volum variind între 6 și 40 de litri, cu rata de scurgere a amestecului natural de gaz, oxigen și azot de 60 de litri pe oră; procesul a decurs la un *p*H de 6,7 și o temperatură de 33°C. Operînd cu acești parametri, Grigorian a obținut o biomasă cu un conținut de 65% proteină brută. Evaluarea economică a acestei metode de producere a proteinei din gaz natural se dovedește competitivă cu aceea din alte surse.

Capitolul II

CIVILIZAȚIA MATERIALELOR SINTETICE

Un mare chimist, N. N. Semenov, spunea că dacă secolul al XIX-lea este deseori denumit secolul aburului și al electricității, atunci secolul XX poate fi numit pe drept cuvînt secolul energiei atomice și al materialelor sintetice. La rîndul său, într-un articol publicat în anul 1978, Paul J. Flory, laureat al Premiului Nobel pentru chimie, arată că, probabil, generațiile viitoare se vor referi la epoca actuală numind-o „epoca polimerilor", după cum în prezent ne referim la anumite perioade din istoria umanității denumindu-le epoca pietrei, a bronzului sau a fierului, a aburului sau a energiei electrice, a energiei nucleare.

Cum se justifică asemenea afirmații? Ele au la bază un fenomen unic în istoria umanității. Este vorba despre trecerea, pentru prima dată, la utilizarea de către om a unor materiale pe care nu le-a mai găsit în natură — ca atare sau în forme îmbunătățite, mai apropiate de cerințele diferitelor utilizări —, așa cum se întîmplase pînă atunci timp de milenii. Specia „homo sapiens" a trecut în acest atît de contradictoriu secol al XX-lea, cu deosebire începînd din a doua sa jumătate, la realizarea unor materiale complet noi, create de el însuși, obținute din cu totul alte resurse decît cele clasice, și care erau „proiectate" încă din faza premergătoare sintezei pentru una sau alta dintre nevoile tot mai sofisticatei tehnici actuale. Cu alte cuvinte, omul a încetat să mai aleagă din oferta generoasă a naturii materialele ce se apropiau cel mai mult de dorințele sale și a trecut la „confecționarea" lor conform acestora.

Așa au apărut materialele sintetice dintre care cele mai răspîndite sînt cele polimere. Înlocuind — datorită calităților lor superioare și, mai ales, posibilității de a fi obținute în cantități mari la prețuri scăzute, în condiții

energetice blînde — materiale clasice ca lemnul, fierul și aliajele sale, metalele neferoase, lîna, bumbacul, cauciucul natural etc., ele au invadat pur și simplu, în egală măsură, viața noastră cotidiană, ca și ramurile cele mai avansate ale științei și tehnicii, fiind astăzi, practic, omniprezente. S-a născut astfel o adevărată civilizație a materialelor sintetice, o „civilizație a înlocuitorilor."

1. Mirifica microlume a macromoleculelor

Ceea ce face întrucîtva paradoxală descoperirea și dezvoltarea atît de spectaculoasă a polimerilor sintetici în ultimele decenii este faptul că macromoleculele au fost prezente dintotdeauna în jurul nostru; și aceasta cu deosebire în lumea vie. Mai mult chiar, fără să o știe, omul i-a utilizat sub cele mai diverse forme, încă din zorii civilizației. Dar, deși utilizați din cele mai vechi timpuri, compușii macromoleculari naturali — pielea, lîna, bumbacul, rafia, mătasea, lemnul sau pergamentul — au început să ne dezvăluie tainele lor abia în a doua jumătate a secolului trecut. Existența lor în organismele vii, confirmată în aceeași perioadă, a stimulat interesul pentru cercetarea și cunoașterea, din ce în ce mai intimă, a fascinantei lumi a moleculelor uriașe.

Oamenii de știință au descoperit treptat importanța enzimelor în cataliza reacțiilor metabolice, rolul carbohidraților în organismele vegetale, transmiterea eredității prin intermediul acizilor nucleici. S-a constatat că proteinele constituie substanțele vitale ale organismelor animale, îndeplinind funcții de transport, protecție, înmagazinare sau de structură. Procesele care au loc în materia vie, corelarea și reglarea lor perfectă se datoresc practic în exclusivitate biopolimerilor.

Metodele chimice sau enzimatice de hidroliză a macromoleculelor naturale au demonstrat că acestea eliberează un număr restrîns de compuși simpli, adesea unul singur. Proteinele sau enzimele, de exemplu, conțin pînă la 20 de aminoacizi diferiți, în timp ce celuloza sau amidonul sînt formați numai din glucoză, iar cauciucul natural sau gutaperca numai din izopren.

Primele elucidări ale structurii unuia din cei mai importanți polimeri naturali cu structură spațială regulată,

celuloza, legate de numele lui K. Freudenberg, ca și cercetările de pionierat ale lui H. Staudinger, au pus bazele chimiei macromoleculelor, sugerînd în același timp perspectiva producției polimerilor sintetici. Aceștia au apărut treptat, din momentul în care tehnologia a cerut noi tipuri de materiale, iar chimia și fizica au pus la dispoziția cercetătorilor mijloacele de sinteză și de investigare.

Macromoleculele naturale, deși încă insuficient cunoscute, au inspirat ideea imitării lor prin metodele sintezei chimice. Prima etapă de dezvoltare a chimiei macromoleculelor s-a bazat însă dominant pe modificarea prin reacții chimice a unor compuși naturali, ca celuloza sau proteinele, preocupare care a trecut rapid pe planul al doilea, cedînd locul sintezei polimerilor din produsele obținute prin prelucrarea cărbunelui, petrolului și gazelor naturale.

Chimia macromoleculară are o istorie recentă în comparație cu alte ramuri ale științelor chimice. Ea s-a constituit ca domeniu de sine-stătător în anii '30, deși o bună parte din ceea ce știm astăzi se cunoștea mai dinainte. În anii aceștia s-au efectuat primele studii sistematice, de adîncime, asupra structurii specifice a macromoleculelor naturale și sintetice, asupra mecanismului de formare și asupra proprietăților lor fizico-chimice. „Chimia polimerilor înalți" era considerată doar o prelungire a chimiei organice care cuprindea, prin tradiție, în aria sa de studiu și descrierea polimerilor naturali, ca celuloza, amidonul, cauciucurile, proteinele.

Chimiștii care au lucrat în sinteza organică aruncaseră la canal decenii de-a rîndul „rășinile" și „smoalele" pe care le obțineau din întîmplare în căutarea de noi substanțe cît mai pure. Dar alți chimiști, mai puțin dominați de idei preconcepute, au reluat stadiul acestor reziduuri „stînjenitoare" ale sintezei și, valorificîndu-le în mod neașteptat, au oferit civilizației umane o nouă clasă de produse cu o gamă încă neepuizată de utilizări.

Realizările practice nu s-au lăsat așteptate. În prima fază, sinteza polimerilor s-a bazat pe monomeri și intermediari separați din gudroanele cocsochimice, apoi pe cei sintetizați din acetilenă, devenită ușor accesibilă prin dezvoltarea rapidă a producției carbidului. Impulsul hotărîtor, care a multiplicat vertiginos atît producția, cît și consumul

de polimeri, a fost determinat de o nouă sursă de materii prime oferită de realizările petrochimiei moderne.

În perioada 1930—1950 se aduc contribuții fundamentale în domeniul teoriei și practicii proceselor de polimerizare și policondensare. Se industrializează procesele de polimerizare radicalică și procesele de polimerizare ionică, se pun bazele cercetărilor de structură a macromoleculelor, se studiază soluțiile și topiturile de polimeri, se pun la punct noi tehnologii de prelucrare a materialelor plastice, a fibrelor și cauciucurilor sintetice. Poate cea mai strălucitoare afirmare pe plan științific a chimiei macromoleculare o reprezintă faptul că în acest domeniu au fost acordate trei premii Nobel: H. Staudinger (1953), G. Natta și K. Ziegler (1963) și P. J. Flory (1974).

Domeniul polimerilor ilustrează semnificativ modul în care practica și aplicațiile, devansînd din considerente economice bazele teoretice ale domeniului, au determinat apoi o înflorire a cercetărilor fundamentale care, la rîndul lor, au impulsionat descoperirea de căi originale de folosire în practică a polimerilor și de elaborare a unor tehnologii avansate de fabricație și prelucrare. Această rețea de influențe reciproce a determinat progrese tehnologice și științifice mult mai rapide decît în alte sectoare industriale. Este semnificativ faptul că majoritatea pionierilor acestui domeniu și-au putut verifica justețea ideilor și teoriilor, valabilitatea rezultatelor obținute în cursul vieții lor. Știința polimerilor și-a arătat soliditatea, vigoarea și eficacitatea într-un interval de timp de cca 40 de ani.

Chimia și tehnologia polimerilor și-au extins, prin contactul cu alte discipline și domenii, aria preocupărilor și și-au diversificat subramurile. Există astăzi o fizică a polimerilor care se ocupă cu morfologia, reologia și mecanica macromoleculelor. S-au constituit biologia și biochimia macromoleculelor naturale, precum și chimia fizică a polimerilor. Există astăzi, de asemenea, o inginerie evoluată a proceselor de sinteză și prelucrare a polimerilor și o cercetare intensă în domeniul reactoarelor de polimerizare sau a construcției de noi utilaje de prelucrare.

Se remarcă în mod deosebit utilizările neconvenționale ale polimerilor care au largi perspective de extindere în viitoarele decenii: polimeri medicamentoși, polimeri

pesticizi, rășini și membrane schimbătoare de ioni, membrane artificiale pentru purificarea și desalinizarea apei, polimeri fotoconductori și fotoreticulați, conductori, semiconductori, floculați și coagulanți macromoleculari, agenți anticrustă, auxiliari pentru industria textilă, a hîrtiei sau pentru condiționarea produselor alimentare, polimeri pentru realizarea de organe artificiale (plămîni, rinichi, pancreas etc.) sau proteze.

Metodele de caracterizare, analiză și testare a polimerilor și produselor finite obținute din aceștia cunosc, de asemenea, o largă dezvoltare. Se face apel astăzi tot mai mult în acest domeniu nou la tehnicile corespunzătoare din chimia analitică clasică și instrumentală, la metodele folosite în determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale celorlalte categorii de materiale. Dezvoltarea științei și tehnologiei polimerilor sintetici este ilustrată și de un alt fapt. Se apreciază că în intervalul dintre anul 1922, cînd H. Staudinger publicase o primă monografie despre compușii organici înalt moleculari (celuloză și cauciuc), și pînă în anul 1965 au apărut peste 2 500 de cărți dedicate polimerilor sau domeniilor conexe, iar în intervalul 1965—1980 s-au publicat încă cca 4 000 de volume. Astăzi apar peste 200 de publicații periodice de specialitate, iar revistele referative din străinătate rezumă anual mai mult de 35 000 de articole sau descrieri de brevete.

Acestei evoluții spectaculoase pe plan științific îi corespunde și una pe plan tehnologic și industrial. Primul material plastic a fost ebonitul (Goodyear, 1852), obținut prin vulcanizarea avansată a cauciucului natural, apoi celuloidul (1868), realizat prin plastifierea cu camfor a celulozei nitrate. A urmat apoi galalitul (1900), obținut prin presarea și reticularea caseinei alcalinizate, apoi bachelita (Backeland, 1907), sintetizată prin reacția fenolului cu aldehida formică. În acest an ia naștere, de fapt, producția de polimeri sintetici. Bazele tehnologiilor de obținere a polimerilor sintetici s-au pus în perioada 1920—1940, cînd apar primele procedee de fabricație a policlorurii de vinil (1920), polistirenului (1920), polibutadienei (1927), poliamidei (1933), cloroprenului (1935), polietilenei (1940), poliuretanilor (1940).

Criza de materii prime și dificultățile în schimburile comerciale internaționale provocate de cel de-al doilea

război mondial au stimulat industrializarea tehnologiilor de obținere a cauciucurilor și fibrelor sintetice. Anii 1945—1955 aduc noi progrese tehnologice prin orientarea bazei de materii prime către produsele petrochimice, mai ieftine și disponibile atunci în cantități foarte mari. Poliolefinele devin polimeri de mare tonaj. Se diversifică vertiginos utilizarea polimerilor în industrie, în obținerea obiectelor de uz casnic și a produselor textile, a încălțămintei, în domeniul construcțiilor și în mijloacele de transport sau pentru confecționarea ambalajelor.

Producția mondială de polimeri destinată obținerii materialelor plastice înregistrează ritmuri de creștere impresionante: 6,9 milioane de tone în 1960; 14,5 milioane de tone în 1965; 30 milioane de tone în 1970; 49,5 milioane de tone în 1975; 79 milioane de tone la începutul anilor '80. Producția lor a ajuns să fie socotită chiar un indicator al nivelului de dezvoltare economică și tehnologică al unei țări.

Statisticile internaționale notează faptul că în ultimii ani fiecare locuitor al Terrei a folosit, în medie, 14 kg de materiale plastice. Desigur, media aceasta nu este aceeași pe toate meridianele globului. În Suedia au revenit fiecărui locuitor 87 kg de materiale plastice și cauciuc sintetic, în Danemarca 85 kg, în R.F.G. 82 kg, în S.U.A 65 kg, în Japonia 61 kg și în Franța 57 kg, în timp ce în numeroase țări în curs de dezvoltare, unde se află concentrată marea majoritate a populației Pământului, cifrele se situează mult sub media mondială.

Care este însă explicația dezvoltării explozive a acestui sector al industriei chimice de sinteză? Cum s-a ajuns ca într-un interval extrem de scurt — să notăm, de exemplu, că cu numai patru decenii în urmă, în 1939, nu funcționa în întreaga lume decît o singură instalație de polietilenă, a cărei producție se cifra la 200 t/an, în timp ce astăzi, într-o singură țară industrializată cum este Franța, se fabrică anual peste 700 000 tone de polietilenă — producția lor să înregistreze creșteri de neimaginat pentru nici un alt material, fie el metalic sau nu?

Ceea ce distinge materialele plastice de alte materiale este faptul că ele sînt constituite din molecule gigantice — așa-numitele macromolecule. Masa lor moleculară atinge cîteva zeci de mii sau sute de mii de grame/mol — în unele cazuri de polimeri speciali chiar milioane g/mol — în timp ce masa moleculară a substanțelor uzuale este incomparabil mai mică. Din punct de vedere chimic, fiecare macromoleculă ia naștere dintr-o succesiune de monomeri — adevărate unități constitutive, legate între ele. Scheletul acestui lanț chimic cuprinde mii sau sute de mii de atomi de carbon. Dar lanțul chimic al polimerului nu este linear și rigid, ci pliat, fiecare segment avînd o oarecare libertate de mișcare.

Această compoziție și structură chimică cu totul particulare conferă materialelor plastice acele imbatabile atuuri calitative care le-au ajutat să se impună. Este vorba, în primul rînd, de proprietățile mecanice ce pot fi alese după dorință — de la rigiditate, elasticitate sau plasticitate pînă la rezistența la șocuri. Este vorba despre densitatea specifică scăzută care, corelată cu proprietățile mecanice amintite, permite reducerea drastică a greutății eventualelor piese sau ansambluri realizate din materiale plastice. Este vorba despre proprietățile lor chimice, dintre care cea mai interesantă este rezistența deosebită la orice fel de agent coroziv. Să adăugăm la acestea excepționalele lor proprietăți dielectrice — rezistivități enorme, de ordinul a 10^{10}—10^{15} ohmi cm — fapt care le face de neînlocuit în industria electrotehnică sau electronică. În sfîrșit, materialele plastice posedă însușirea de a fi ușor trase în fire sau folii, se pot colora ușor și variat, oferă produse trainice și ușor de întreținut.

Ceea ce face însă ca materialele plastice să fie preferate aproape oricăruia dintre materialele clasice — de la metale, lemn și sticlă și pînă la bumbac sau lînă — este prețul scăzut, investiția redusă de mijloace necesară obținerii calităților remarcabile menționate mai sus. Mai mult, prelucrarea maselor plastice se realizează, de regulă, cu o productivitate și un grad de automatizare mai ridicate, la temperaturi mai joase decît în cazul materialelor tradiționale. Acest din urmă argument, al economiei de energie în procesul de obținere și de prelucrare a materialelor plastice, atîrnă din ce în ce mai greu în balanța economică actuală.

Ca urmare, o tonă de materiale plastice înlocuiește cu succes 4—5 tone de oțel, 8,8 tone de fontă, 2,4 tone de aluminiu, 6—9 tone de cupru, bronz sau alamă și nu mai

puțin de 15,8 tone de lemn. Exemplele ar putea, desigur, continua. Cum însă majoritatea materialelor clasice pe care le înlocuiesc masele plastice sînt din ce în ce mai deficitare pe plan mondial, rezultă, credem, clar importanța economică majoră a acestor prețioși și ieftini substituenți.

Pătrunse inițial ca înlocuitori ai unor materiale scumpe sau deficitare în cele mai diferite ramuri economice, materialele plastice și-au dobîndit astăzi o adevărată omniprezență prin calitățile lor proprii. Ponderea lor în diferite domenii de activitate variază de la țară la țară, funcție de structura economică specifică, dar pe plan mondial repartiția generală este, în linii mari, următoarea: ambalaje 25—33 la sută, construcții 23—25 la sută, electrotehnică și electronică 14—20 la sută, construcții de mașini și autovehicule 1—8 la sută, bunuri de consum 7—13 la sută, agricultură 1—3 la sută.

2. Polimerizarea stereospecifică revoluționează sinteza materialelor plastice

În drumul mereu ascendent al materialelor plastice o deosebită importanță a avut descoperirea făcută de Karl Ziegler, în anul 1954, și anume că amestecul de combinații organo-aluminice și tetraclorura de titan catalizează polimerizarea etilenei la presiuni joase. Pînă la acea dată polietilena se obținea numai prin polimerizarea radicalică la presiuni de ordinul cîtorva mii sau chiar zeci de mii de atmosfere (5 000—20 000 de atmosfere), conducînd la așa-numita „polietilenă de presiune înaltă și foarte înaltă" sau polietilenă de densitate joasă (0,92 g/cm^3). Macromoleculele acestui polimer prezintă numeroase ramificații, ceea ce face ca materialul plastic să aibă o cristalinitate de numai 40—50%. Ca urmare, polietilena de densitate joasă se caracterizează prin rezistență termică și mecanică relativ scăzute (polietilena moale).

Procedeul Ziegler a revoluționat tehnologia de obținere a polietilenei, permițînd obținerea industrială a acesteia la presiuni de numai cîteva atmosfere. Această polietilenă este formată în principal din macromolecule lineare, cu foarte puține ramificații, ceea ce permite împachetarea ușoară a macromoleculelor. Drept urmare crește

conținutul în fază cristalină pînă la 94%, iar proprietățile termomecanice ale acestui material plastic sînt considerabil îmbunătățite.

Polietilena obținută prin procedeul Ziegler este cunoscută sub denumirea de polietilenă de mare densitate (0,97 g/cm^3) sau polietilenă dură. Pe lîngă utilizările clasice în domeniul ambalajelor, ea are întrebuințări noi, cum ar fi: conducte de presiune, izolații electrice, rezervoare foarte mari, ambarcații ușoare nescufundabile sau chiar roți dințate. În țara noastră a fost pus la punct un procedeu original de obținere a polietilenei de densitate mare cu catalizator pe bază de amil-sodiu (procedeul Nenițescu).

Descoperirea lui Karl Ziegler a fost dezvoltată cu succes de lucrările lui Giulio Natta și ale școlii sale. În anul 1955, Giulio Natta pune bazele polimerizării stereospecifice care permite obținerea polimerilor stereoregulați (izotactici și sindiotactici) folosind drept catalizatori de polimerizare produșii de reacție ai combinațiilor organo-aluminice cu compușii metalelor tranziționale (așa-numiți „catalizatori Ziegler-Natta"). Importanța acestor descoperiri rezultă și din faptul că în anul 1963 celor doi savanți le-a fost decernat Premiul Nobel pentru chimie.

Cu acești catalizatori au fost polimerizați cei mai diverși monomeri — în special alfa-olefine și monomeri vinilici —, obținîndu-se materiale plastice cu proprietăți noi față de cele obținute din aceiași monomeri care au fost polimerizați pe altă cale, cum ar fi de exemplu, cea radicalică. Una din proprietățile de bază ale acestor materiale plastice constă în aceea că sînt apte de a cristaliza, datorită aranjamentului spațial regulat al monomerilor și al substituenților acestora, faptul acesta conferindu-le o rezistență mecanică și termică superioară celor ale materialelor plastice atactice (nestereoregulate). O mare realizare în acest sens a constituit-o obținerea polipropilenei izotactice cu structură cristalină a cărei temperatură de topire este de circa 165 °C, pe cînd polipropilena atactică, amorfă are intervalul de înmuiere la 100—120°C.

Deosebit de interesantă este obținerea unor polimeri de propilenă (și alți monomeri) stereobloc. Ce înseamnă acest lucru? Sinteza decurge astfel încît în macromolecule se găsesc blocuri cristaline și amorfe. Un asemenea material

plastic se topește într-un interval larg de temperatură (100—170°C), ceea ce îi facilitează prelucrarea. Tocmai datorită proprietăților sale deosebite, ce au la bază structura cristalină, polipropilena izotactică a început să concureze în aplicațiile sale polietilena de densitate mare (dură), așa că pentru acest material plastic se prevede un mare viitor.

Pentru a îmbunătăți calitățile maselor plastice se recurge și la alte procedee. Materialele plastice izotactice se utilizează atît ca atare, cît și sub forma compozițiilor lor ranforsate (cu fibre de sticlă, grafit, fibre de azbest, talc etc.). Ranforsarea (armarea) materialelor plastice mărește mult rezistența mecanică și greutatea specifică. Desigur, în același timp crește și prețul lor. Cu toate acestea, utilizarea materialelor plastice ranforsate rămîne rentabilă datorită proprietăților speciale pe care nu le au materialele naturale.

Alte căi de modificare a proprietăților materialelor plastice constau în formarea de aliaje între ele, grefări de macromolecule pe un material plastic dat etc. Acest din urmă procedeu, îmbunătățește, pe lîngă proprietățile fizico-mecanice, și rezistența chimică a materialelor plastice.

Să examinăm, pe scurt, cîteva dintre cele mai interesante domenii de aplicare ale materialelor plastice.

Industria de ambalaje este și va rămîne și în viitor în lume principalul consumator de materiale plastice. Desigur, datorită crizei mondiale a petrolului, nu se vor mai înregistra creșterile importante preconizate anterior. Totuși se estimează că rata de dezvoltare a ambalajelor din plastic va fi în continuare în medie de 10 la sută anual în lume, iar pe țări o dezvoltare proporțională cu produsul național brut. Coordonatele principale ale utilizării lor le constituie pătrunderea mai adîncă a materialelor plastice în domeniile de utilizare actuală ale sticlei, hîrtiei, tablelor și foliilor metalice, extinderea și perfecționarea sistemelor de ambalaje industriale (pe palete, minipalete, filme contractibile, ambalaje grupate), creșterea consumului de materiale plastice cu structură poroasă ca înlocuitori ai ambalajelor din lemn etc.

În domeniul materialelor de construcții, masele plastice își vor continua de asemenea ascensiunea, pe plan mondial atingîndu-se ritmuri de creștere a producției și

consumului de 10—15 la sută. Principalele categorii de produse vor fi profilele din materiale plastice ca înlocuitori ai tablelor ondulate și profilelor metalice, panourile stratificate, elementele prefabricate cu izolație termică și fonică din spume poliuretanice, rețele sanitare și electrice cuprinzînd țevi din policlorură de vinil și poliolefine, instalații sanitare din poliesteri armați, polimeri acrilici sau „aliaje" de diferite materiale plastice, cum ar fi acrilonitrilul, butadiena și stirenul (ABS).

Electrotehnica și electronica, beneficiari tradiționali ai materialelor polimere — să ne amintim, de exemplu, că primul cablu submarin instalat în secolul trecut între Calais și Dover a fost izolat cu gutapercă, un polimer natural poliizoprenic — vor cunoaște o pătrundere încă relativ importantă a maselor plastice. Ritmurile de creștere a consumurilor în aceste domenii se vor cifra la o medie de circa 15 la sută pe plan mondial, cu extreme ce variază de la țară la țară, cuprinse între 10 și 25 la sută. Tendințele anticipate cuprind pentru acest domeniu dezvoltarea în continuare a produselor din polimeri tradiționali ca: policlorură de vinil, polietilenă, polistiren, dar și apariția și ascensiunea rapidă a unor materiale speciale cum sînt policarbonații, poliacetalii, polifenilen oxidul etc.

Industria construcțiilor de mașini și de autovehicule va înregistra, se pare, cel mai înalt ritm de asimilare a materialelor plastice: în medie, pe plan mondial, 44 la sută anual. Principalele tipuri de polimeri folosiți vor fi policlorura de vinil, poliolefinele și polimerii stirenici — în special cei armați —, cărora le vor reveni circa 40 la sută din consumul total al domeniului. Direcțiile de utilizare a materialelor plastice în construcția de mașini se diversifică și se multiplică continuu. Apariția materialelor plastice de mic tonaj, ce au calități deosebite, lasă să se întrevadă faptul că, pe măsura utilizării lor tot mai largi, se vor obține în acest domeniu nu numai importante economii de metal, ci și o creștere a parametrilor tehnico-funcționali și a fiabilității mașinilor și vehiculelor.

În sfîrșit, un alt domeniu unde se anticipează o tot mai largă răspîndire a materialelor plastice este agricultura. Ponderea cea mai mare în producția de prelucrare destinate acestui sector o vor deține filmele de polietilenă de joasă presiune folosite pentru menținerea umidității

solului, pentru protejarea culturilor de legume și fructe în sere și solarii, precum și pentru impermeabilizarea silozurilor, rezervoarelor și a canalelor. Urmează apoi țevile și tuburile din policlorură de vinil și poliolefine, folosite pentru lucrări de drenaj, irigații, aspersiune, hidroameliorații etc.

Alte domenii de aplicație ale materialelor sintetice polimere sînt tehnicile de vîrf. Iată numai cîteva exemple în acest sens.

Industria aerospațială. Condițiile principale impuse materialelor plastice utilizate în acest domeniu sînt: să reziste la temperaturi ridicate și scăzute, să nu ardă, iar dacă ard să nu producă fum. Astfel, hublourile avioanelor se confecționează din policarbonat rezistent la foc și care are și o excepțională rezistență la șoc. Pentru cabinele de pasageri se folosesc laminate din rășină epoxidică sau fenolică ranforsate cu fibre de sticlă și acoperite cu un strat metalic subțire pentru o cît mai bună rezistență la foc. La construcția navelor spațiale se utilizează plăci cu structură sandvici de grafit-rășină epoxidică-bor-aluminiu, care rezistă la temperaturi ridicate. Pentru capsulele spațiale se utilizează, de asemenea, plăci rezistente la temperaturi înalte, avînd structura bor-rășină epoxidică-grafit-rășină epoxidică.

Industria nucleară. Politetrafluoretilena și politriclorfluoretilena, care rezistă la compușii fluorurați agresivi, cum este și hexafluorura de uraniu, se utilizează la instalațiile industriale destinate separării izotopice a uraniului, ca elemente de legătură pentru pompe și compresoare, conducte, clape de vane etc. Pentru îmbunătățirea rezistenței față de radiațiile beta sau de amestecurile de radiații și neutroni provenite de la pilele nucleare se utilizează polimeri fluorurați (fluoroplaste) grefați radiochimic cu monomeri de stiren, metil-metacrilat etc.

Industria chimică. În acest domeniu, materialele plastice își găsesc cele mai diverse aplicații, începînd de la conducte (polietilenă de mare densitate, P.V.C. rigid) pînă la piese componente ale pompelor și compresoarelor care lucrează în medii corozive, grație greutății specifice scăzute și rezistenței chimice și mecanice ridicate ale acestor materiale. Dar materialele plastice cunosc utilizări importante chiar în construcția unor aparate și utilaje la

care cu greu și-ar fi putut închipui cineva că se poate renunța la metal. S-au executat astfel reactoare chimice din polipropilenă izotactică și poliester armat cu fibre de sticlă avînd o capacitate de nu mai puțin 48 t, diametrul reactorului fiind de 3 m, iar înălțimea de 7,5 m. S-au construit, de asemenea, rezervoare gigant din materiale stratificate (polipropilenă izotactică-fibre de sticlă) pentru industria hîrtiei avînd o capacitate de 68 m^3.

În prezent se utilizează schimbătoare de căldură pentru răcirea lichidelor corozive cu tuburi din politetrafluoretilenă. Pentru răcirea acidului sulfuric, de exemplu, se folosește un fascicul de 31 000 de țevi cu diametrul exterior de 25 mm și lungimea de 3—7 m, în care acidul curge perpendicular pe țevile prin care trece apa. Materialele folosite prezintă o rezistență mult mai mare la coroziune decît tuburile din fontă avînd un cost similar la aceeași capacitate, nemaivorbind și de greutatea mult mai scăzută. În sfîrșit, s-au construit turnuri de atomizare (de pulverizare a materialelor) de 15 m înălțime și 25 m diametru, placate în interior cu politetrafluoretilenă, pentru soluțiile concentrate de săruri alcaline. Politetrafluoretilena, avînd proprietăți antiaderente, împiedică formarea crustelor pe pereții turnului.

Industria electronică. Cunoaștem cu toții excelentele proprietăți electroizolante ale materialelor plastice și în general ale polimerilor sintetici. De aceea s-ar putea să surprindă faptul că materialele plastice își găsesc utilizări și ca înlocuitori de materiale conductoare și semiconductoare tradiționale. Utilizarea lor în acest domeniu se bazează pe următoarele considerente:

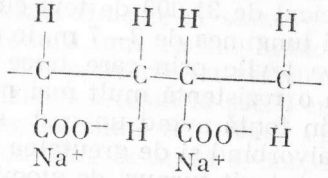
- ușurința de formare a piesei cu geometria dorită, aplicînd tehnicile convenționale de prelucrare a materialelor plastice;
- posibilitatea de realizare a gradului de conductibilitate dorit;
- greutatea mult mai scăzută a piesei.

Materialele plastice cu conductibilitate electrică se realizează pe două căi principale. Prima este obținerea de amestecuri polimerice electroconductibile prin introducerea de grafit sau pulberi metalice în masa materialului. Cea de a doua constă în realizarea polimerilor cu structuri moleculare particulare, prin sinteză directă sau prin

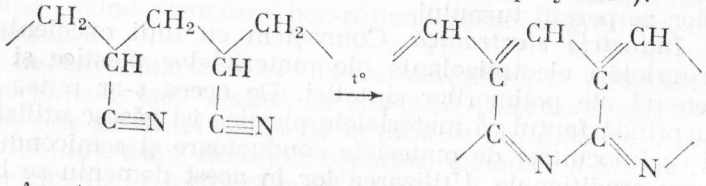
modificarea catenei polimerice (cu un agent de chelatizare), ca de exemplu: poliftalocianina, polifenocen, polimeri de coordonare etc. Ca o aplicație interesantă a materialelor plastice care conduc electricitatea se pot aminti foile conductibile din polietilentereftalat acoperite cu negru de fum și care se utilizează pentru încălzirea electrică a pistelor de aterizare a avioanelor.

Materialele plastice semiconductoare sînt de două tipuri:

• cu semiconductibilitate de tip ionic, ca de exemplu, poliacrilatul de sodiu:



• cu semiconductibilitate de tip electronic, datorită prezenței de electroni delocalizați (de obicei, electroni π). Un exemplu îl constituie polimerul obținut prin încălzirea poliacrilonitrilului (așa numitul „Ladder-polymer"):



Aceste materiale plastice își găsesc utilizarea la fabricarea tranzistoarelor.

Schimbările cele mai spectaculoase nu au însă loc în domeniul așa-numiților „polimeri clasici". Ultimii ani au marcat dezvoltarea unui sector deosebit al sintezei materialelor plastice — cel al polimerilor speciali. Produși în cantități mici, în condiții speciale, ei sînt capabili să ofere utilizatorilor calități și performanțe neobișnuite.

Simpla aditivare, de exemplu, a cunoscutelor rășini epoxi cu fibre de carbon duce la apariția unui material al cărui modul de elasticitate specifică este de 10 ori mai mare decît al celor mai bune oțeluri produse astăzi. Cum prețul fibrelor de carbon a scăzut enorm în ultimii ani

— în 1973 doar sectorul construcțiilor aerospațiale, unde nu se punea problema costurilor, putea beneficia de materiale plastice armate cu fibre de carbon —, asemenea materiale tind să pătrundă în cotidian. Se estimează că în curînd consumul de carburanți al automobilelor va putea fi redus și prin fabricarea unor caroserii superușoare, dar foarte rezistențe din materiale plastice armate.

Alte modificări, de această dată în însăși structura polimerilor, pot aduce calități spectaculoase în comportamentul acestora. De exemplu, dacă lanțurile hidrocarbonate ale polimerilor nu sînt lăsate să se plieze la întîmplare, ci sînt, „întinse" prin etirare, ia naștere o structură semicristalină a masei de material plastic care este caracterizată de o mare rezistență mecanică. La Expoziția „Europlastique", organizată la Paris nu demult au fost prezentate sticle din PVC orientat în două direcții perpendiculare care se distingeau printr-o neobișnuită durabilitate la o greutate mult mai scăzută. Un alt exemplu îl constituie articulațiile din polipropilenă etirată care, datorită structurii cristaline, rezistă la milioane de îndoiri, performanță inimaginabilă pentru cele mai bune oțeluri cunoscute în prezent. Mai mult, ele nu ruginesc și sînt mai ușoare și mai ieftine decît cele din oțel.

O altă posibilitate de a modifica structura masei de polimeri constă în legarea chimică a lanțurilor hidrocarbonate între ele. Rezultă așa-numiții „polimeri reticulați", care se aseamănă cu o rețea tridimensională. Caracteristice pentru această structură sînt infuzibilitatea, o rigiditate neobișnuită, insolubilitatea în orice fel de dizolvant. Asemenea calități sînt deosebit de utile diferitelor domenii de vîrf ale tehnicii actuale.

Materialele plastice speciale se impun tot mai mult și prin calitățile lor optice. Sticlele organice de tipul polimerilor dicarbonat de dietilen glicol bis alil concurează sticlele minerale pe bază de dioxid de siliciu în cea mai fină optică. Cele mai spectaculoase realizări le consemnează însă fibrele optice din polimeri acrilici sau poliamidici care au o ductibilitate, o rezistență și o elasticitate mult superioare fibrelor din sticlă minerală. În sfîrșit, în același domeniu sînt de menționat polimerii cu structură tridimensională de foarte mare regularitate, cilindrică sau în lamele echidistante. Ei sînt foarte asemănători crista-

lelor lichide. Dacă distanțele dintre cilindri sau lamele sînt de ordinul lungimilor de undă ale radiațiilor luminoase, are loc un proces de difracție a acestora. Cu alte cuvinte, un strat de material plastic cu o asemenea structură se comportă ca un colorant irizant. Cît de atractivă poate apărea o asemenea soluție în ochii constructorilor de automobile, de exemplu, este ușor de înțeles.

Să mai notăm că, printr-o structură fizico-chimică adecvată, polimerilor sintetici li se poate conferi capacitatea de a conduce curentul electric sau că ei pot deveni electreți — substanțe cu încărcătură electrică bipolară permanentă. Perspectivele unor asemenea materiale în electronica modernă sînt extraordinare.

În sfîrșit, cea mai senzațională aventură a materialelor plastice pare să devină, în viitor, biocompatibilitatea. Prin grefarea pe lanțul polimerului a unor grupări chimice adecvate se speră că acesta nu va mai fi considerat „străin" de organismul uman. Cît de utilă ar fi o asemenea proprietate pentru medicina viitorului este încă destul de greu de imaginat chiar la nivelul actual de cunoștințe de care dispunem.

3. Spectaculoasele intervenții ale înlocuitorilor sintetici

După cum se știe, masele plastice și-au cucerit demult un loc important în nomenclatorul de materiale al constructorilor de mașini. Aceasta, desigur mai ales din motive economice. În primul rînd, metalul este din ce în ce mai solicitat, rezervele de minereuri și producția propriuzisă avînd tendința să intre în dezechilibru cu cererea.

Un alt argument este cel energetic. Orice materie primă este asociată și caracterizată astăzi de echivalentul său energetic, adică de energia necesară extragerii sau producerii ei. La aceasta se adaugă și energia necesară prelucrării materialului respectiv pentru obținerea pieselor dorite. Iată de ce alegerea celei mai indicate materii prime devine, în condițiile crizei energetice actuale, o problemă de mare importanță economică. Or, comparînd consumul de energie necesitat de obținerea metalului din minereuri, de laminare, de prelucrarea lui pe mașini-unelte de diferite tipuri, de călire și tratare termică sau chimică

etc. cu cel pe care îl necesită confecționarea aceluiași reper din materiale plastice, rezultă, de multe ori, un avantaj net pentru acestea din urmă.

La acestea se mai adaugă și alte avantaje ale materialelor plastice. Astfel, greutatea unor mașini poate fi redusă prin confecționarea diferitelor piese componente din materiale plastice (nailonul este de 6 ori mai ușor decît oțelul), fapt care, în cazul autovehiculelor, de exemplu, conduce la însemnate economii de combustibili fără reducerea puterii. Pe de altă parte, materialele plastice sînt rezistente la coroziunea atmosferică, la apă și chiar la cele mai agresive medii chimice, ceea ce permite prelungirea vieții mașinilor și utilajelor ce au piese din asemenea materiale. În sfîrșit, materialele plastice cu grafit sau sulfură de molibden dau posibilitatea realizării de „lagăre uscate", eliminînd lubrifianții. Confecționarea diferitelor piese din materiale plastice reduce considerabil zgomotul și vibrațiile, fapt de mare însemnătate în protecția personalului muncitor.

Alt grup de avantaje rezultă din prelucrarea simplă, fără consum mare de energie, cu o mare productivitate a muncii, a materialelor plastice pentru confecționarea celor mai complexe piese.

Dar, după cum reiese din analiza reperelor la care folosirea metalului a fost eliminată prin utilizarea materialelor plastice, pînă în prezent acestea erau în special piese neportante, cum ar fi părți ale caroseriilor, carcase, rezervoare, tuburi, conducte, garnituri etc. În prezent, însă, pe plan mondial se constată o tendință din ce în ce mai accentuată de penetrație și extindere a folosirii materialelor plastice și în fabricarea elementelor de mecanisme, transmisiilor, axelor, rotoarelor etc., cu alte cuvinte, a organelor de mașini portante, care sînt supuse unor eforturi mecanice mari.

Capacitatea portantă a organelor de mașini din materiale plastice este mai mică decît a celor metalice de aceeași formă și dimensiuni. Capacitatea portantă poate fi însă substanțial mărită prin adaosuri adecvate în compoziția chimică, dar mai ales prin armare cu fibre rezistente (sticlă, carbon, azbest etc.) și prin aplicarea unei tehnologii perfecționate atît în obținerea materiei prime, cît și

a semifabricatelor sau produselor finite, în ultimul caz influențîndu-se favorabil și structura.

Prin cunoașterea caracteristicilor fizico-mecanice ale materialelor plastice existente, din care s-ar putea executa reperul, a rolului și condițiilor funcționale ale organului de mașină, inclusiv cele din mediu (umezeală și temperatură maximă), a tipului și mediului de ungere, a solicitărilor mecanice, a duratei de funcționare, a materialului metalic din care se execută curent reperul, a tehnologiei de execuție și montaj, a numărului de bucăți în care se prevede execuția în viitor, precum și a posibilităților de execuție a reperului din material plastic (injecție, presare, prelucrare), se pot realiza astăzi organe de mașini portante din materiale plastice care să răspundă celor mai înalte exigențe ale exploatării.

Astfel, pentru obținerea organelor de mașini portante, se pot dimensiona semifabricate în formă de bare sau discuri injectate sau presate în matrițe, din care, apoi, prin prelucrări mecanice pe mașini-unelte, să se obțină piesa dorită.

Dintre tehnologiile de obținere a organelor de mașini și pieselor portante în construcția de mașini mai pot fi menționate:

• Acoperirile cu straturi foarte subțiri (sub 1 mm) de material plastic ale pieselor metalice. Prin aceasta se mărește rezistența la uzură a pieselor, se micșorează jocurile, deoarece căldura rezultată prin frecare se elimină mai ușor și se păstrează rezistența mecanică, deci dimensiunile piesei metalice. Această metodă a condus la rezultate bune în construcția bucșelor pentru lagăre cu alunecare.

• Acoperirile cu straturi metalice subțiri a organelor de mașini executate din materiale plastice (procedeul de metalizare) sînt mai rar practicate. Ele sînt utilizate în special pentru unele măsurători în laborator sau în scopuri speciale (optice, decorative). Nu influențează asupra rezistenței mecanice a materialului plastic.

• Extrem de eficientă este alegerea adecvată a unor materiale corespunzătoare, a unor tratamente de suprafață și a unor prelucrări fine care să mărească duritatea și calitatea suprafețelor pieselor metalice care în funcționare au o mișcare relativă față de organele de mașini executate din materiale plastice armate cu fibră de sticlă.

• O altă metodă o reprezintă subțierea unor organe de mașini executate din materiale plastice (în special la bucșele de lagăre), fapt care permite o mai ușoară evacuare a căldurii, deci deformații și jocuri mai mici. În acest caz, asigurarea rezistenței mecanice se realizează prin presarea bucșei într-un suport metalic.

Pentru a răspunde însă solicitărilor deosebite la care sînt supuse piesele din materiale plastice în construcția de mașini este nevoie de elaborarea unor „rețetare" noi de obținere a polimerilor sintetici. Este tocmai ceea ce urmăresc numeroase echipe de specialiști din diferite laboratoare ale lumii. Mulți dintre ei nu ezită să afirme că materiale plastice cît se poate de banale, cum ar fi, de exemplu polietilena ar trebui să fie — în anumite condiții — mai rezistente chiar decît oțelul.

Într-adevăr, un examen al structurii sale cristaline relevă faptul că succesiunea, în lungul lanțului de polietilenă, a atomilor de carbon legați unii de alții prin legături covalente este perfect asemănătoare cu cea a diamantului. Conform evaluărilor teoretice, polietilena ar trebui să aibă o rigiditate de circa 300 giganewtoni/m^2, adică cu mult mai mult decît cei 210 GNm^{-2} ai oțelului. Dar pentru a atinge această valoare teoretică, macromoleculele de polietilenă ar trebui să aibă o structură ideală, adică lanțurile atomilor de carbon să fie aliniate și continue. Ar mai trebui, de asemenea, ca extremitățile moleculelor să fie dispuse decalat una față de alta, pentru a evita „slăbirea" fasciculului.

O asemenea structură este însă departe de a fi întîlnită în cazurile practice. În mod normal, catenele macromoleculelor de polietilenă nu sînt lineare, ci pliate. Aceasta deoarece atunci cînd se răcește, polimerul în stare topită nu are timp să se întindă, ci se solidifică în forma „încîlcită" în care se găsea. Cristalele ce iau naștere sînt de forma unor lamele subțiri, cu grosimi de 1—300 Å. Rezistența este atenuată foarte mult nu numai de „împachetarea" lanțului de atomi de carbon, ci și de către posibilitățile de alunecare a cristalelor lamelare unul pe suprafața celuilalt, fapt ce permite fracturarea foarte ușoară a structurii.

Aceste lucruri însă o dată cunoscute, se conturează deja căile prin care s-ar putea obține o structură și deci o rezistență ideală pentru polietilenă. Pentru aceasta ar trebui ca lanțurile atomilor de carbon să fie întinse cît mai aproape de linearitate, iar interfețele cristalelor să fie „consolidate", pentru a se evita ruperea lor. Cea mai importantă dintre aceste două condiții o constituie, de departe, linearitatea catenelor. Cum ar putea fi ea obținută? În primul rînd, prin polimerizarea în stare solidă, cu obținerea directă a catenelor „drepte". Dar acest procedeu, foarte avantajos în cazul polimerizării trioxanului sau a altor monomeri, nu este aplicabil etilenei.

Soluția generală, aplicabilă deci și polietilenei, o constituie întinderea prin tragere din soluție sau din topitură a filmelor sau fibrelor de polimeri. Pe această cale, devenită astăzi aproape clasicul procedeu de etirare, se obține o creștere foarte importantă a rezistenței foliilor sau fibrelor de polimeri. Importantă, dar nu suficientă încă față de posibilitățile existente. Aceasta deoarece, de-a lungul cristalelor etirate, care cuprind într-adevăr catene alungite, se formează excrescențe de cristale cu lanțuri pliate. În final, numai o mică parte a polimerilor din masa supusă etirării sînt de fapt „întinși", ceilalți păstrîndu-și dispunerea „împachetată" și imprimînd deci caracterul de relativ slabă rigiditate.

Ce s-ar mai putea face, așadar, în continuare? Asupra acestei probleme și-au concentrat atenția numeroși cercetători din laboratoare aflate pe cele mai diferite meridiane ale globului. Rezultatele nu au întîrziat să apară. Astfel, specialiștii britanici au pus la punct o metodă nouă de etirare a masei de polietilenă topită, de data aceasta aflată sub o presiune de circa 5 kilobari. Argumentele pentru recurgerea la un asemenea tratament constau în faptul că la presiuni de peste 3 kilobari polietilena cristalizează într-o nouă structură. Într-adevăr, studiile au arătat că la această presiune cristalele de polietilenă nu mai sînt ortorombice, ci hexagonale. Prin aplicarea acestui procedeu s-a obținut deja polietilene cu valori ale modulului lui Young de 100 GNm^{-2}, adică aproximativ jumătatea rezistenței oțelului.

Este aceasta ultima limită posibilă? Specialiștii ne asigură că nu. Ei subliniază că, deocamdată, raportul de etirare nu a depășit modesta valoare de 8. Cu alte cuvinte, mărindu-și numai de 8 ori lungimea, un polimer este departe de a-și fi recăpătat linearitatea. Ridicarea acestui raport spre cifre în jurul valorii de 30 va aduce noi și importante creșteri ale rigidității. Pe de altă parte, tratarea specială a cristalelor de polietilenă etirată în condiții de temperatură și presiune ridicată, pentru a o trece în cristale cu structură hexagonală stabilă, va contribui și ea la creșterea spectaculoasă a rezistenței clasicului material plastic. Încercări în aceste două direcții se desfășoară în prezent în S.U.A. și Marea Britanie.

Iată deci că promisiunile pe care chimiștii le fac constructorilor de mașini în ceea ce privește posibila introducere în viitorul apropiat a unor noi înlocuitori ai metalului, cu caracteristici de rezistență superioare celor mai bune oțeluri, cu greutăți specifice mult mai reduse, mai ieftine și mult mai simplu și mai economic de prelucrat nu sînt deloc lipsite de acoperire.

Totuși, unii temerari ai tehnicii nu au așteptat materializarea acestor promisiuni, luînd-o încă de azi, înaintea timpului. Căci, dacă marea majoritate a specialiștilor acceptă viitorul materialelor plastice în fabricarea automobilelor, cu deosebire a caroseriilor, puțini sînt cei care recunosc faptul că ele ar putea fi utilizate și în... construcția motorului. Cei care au încercat să realizeze unele piese izolate din componența „inimii" autovehiculului sînt și mai puțini.

Cu toate acestea, un inventator american, M. Holtzberg, a avut îndrăzneala de a trece la o soluție radicală: un motor confecționat aproape complet din materiale nemetalice. Ceea ce a realizat el pare, la prima vedere, aproape imposibil: un motor cu benzină care a funcționat deja pe standul de probe timp de peste 1 000 de ore și ale cărui componente sînt în proporție de 90% din materiale plastice. Astfel, carcasa, capetele cilindrilor, baia de ulei, blocul motor etc. sînt construite din rășini epoxidice și poliamidice. Pentru a spori elasticitatea și, mai ales, rezistența la acțiunea temperaturii, „clasicii" polimeri au fost „armați", asemănător betonului, cu fibre de sticlă sau de carbon. Ca urmare, temperaturi de pînă la 300 °C nu au nici o influență negativă asupra pieselor motorului.

Desigur, chiar fără nici o componentă metalică nu se poate! Acolo unde gazele arse, fierbinți intră în contact cu pereții motorului sau acolo unde se exercită forțe mecanice considerabile, materialul plastic nu ar corespunde, oricît ar fi el (în prezent) de sofisticat. Iată de ce, spre exemplu, supapele sînt din aliaje metalice speciale. Dar tijele lor sînt tot din plastic. Mai mult, în prezent temerarul constructor experimentează deja supape din polimeri placate cu ceramică. Și cămașa cilindrilor, la fel ca și arborele cu came sînt (încă) metalice. Deși încercările de pînă acum de a realiza un ax cu came din înlocuitori nu au dat rezultate, acestea uzîndu-se mult prea repede și provocînd oprirea motorului, M. Holtzberg continuă să fie optimist și în această direcție. Pentru el chiar și arborele cotit, unde apar momente de rotație de intensități considerabile, capabile să ducă la ruperea materialului, are șanse să cunoască în viitor variante nemetalice.

Totuși obiectivul principal pe care inventatorul și l-a propus — și anume reducerea drastică a greutății motorului în condițiile menținerii neschimbate a puterii — a fost atins. Motorul realizat de el este o variantă din material plastic a celui cu patru cilindri, de 2,3 l, cu care firma „Ford" echipează cunoscutul „Mustang". Dar în timp ce motorul metalic cîntărește 187 kg, cel din polimeri atinge abia 76 kg, adică cu 60% mai puțin. Apoi, performanțele pe care le realizează nu sînt cu nimic mai prejos decît cele ale convenționalului său „geamăn": 100 CP la 5 300 rot/min.

Cum îmbunătățirea raportului putere-greutate își arată efectele cel mai rapid și mai elocvent în cursele sportive, inventatorul a pus la punct și un prototip de motor competițional. Raționamentul său este simplu: dacă motorul de plastic se va impune în condițiile extrem de dure ale alergărilor automobilistice, cu atît mai ușor va fi el apoi acceptat în construcția autovehiculelor normale.

Motorul de curse din material plastic a absolvit și el 100 de ore de funcționare pe standul de probe. Ar urma să fie folosit în competițiile de formula a II-a pentru care, se pare, are atuuri practic imbatabile. Cu o greutate redusă la mai mult de jumătate, avînd o capacitate de 1 922 cm^3, el realizează 318 CP la o turație de 9 200 rot/min. Încercările au arătat, de asemenea, că menținerea

îndelungată a unor turații extrem de ridicate, de pînă la 14 000 rot/min, este foarte bine suportată de neobișnuitul motor. Or, astfel de realizări ar face cinste și unui motor construit integral din piese metalice!

Față de confrații săi metalici, noul motor mai dispune și de un alt avantaj: el este deosebit de silențios. Chiar la 4 000 rot/min zgomotul produs în timpul funcționării este abia perceptibil. Explicația? Prin însăși prezența lor, materialele plastice absorb cel puțin 30% din zgomot. Pe de altă parte, subliniază M. Holtzberg, reducerea cu 60% a greutății aduce, implicit, și o reducere de același ordin de mărime a vibrațiilor, fie ele audibile sau nu.

Așadar, date fiind impresionantele calități ale acestui inedit tip de motor, nu ne rămîne decît să așteptăm cît mai apropiata sa utilizare în construcția de autovehicule, cu speranța că, în contextul actualei crize a hidrocarburilor fosile, el va aduce o nouă înseninare a sumbrelor perspective pe care mulți specialiști nu ezită să le avanseze în legătură cu viitorul mult îndrăgitelor noastre automobile.

Ideea că polimerii sintetici s-ar putea impune, în electrotehnică și electronică, de exemplu, dar nu ca simpli izolatori electrici — în această direcție ei și-au cîștigat deja un adevărat „monopol" —, ci din contră, ca materiale bune conducătoare de electricitate, capabile să înlocuiască și chiar să depășească în performanțe metalele, este de natură să stîrnească nu numai nedumeriri, ci chiar și aprige proteste. Și totuși . . .

În anul 1965, profesorul William A. Little de la Universitatea din Stanford, California, a emis ipoteza că un polimer sintetic, pe a cărui moleculă ar fi grefate grupări chimice favorabile ar putea fi nu numai un bun conducător electric, ci ar putea prezenta chiar proprietăți de supraconductibilitate (rezistență electrică nulă). Și aceasta la temperaturi obișnuite, nu ca în cazul metalelor, în vecinătatea lui zero absolut.

Pe ce se bazează o asemenea afirmație? Cercetări teoretice de dată recentă au stabilit că structura legăturilor chimice covalente, specifice compușilor organici, nu este chiar atît de incompatibilă cu fenomenul de conductibilitate electrică, specific metalelor, pe cît s-ar părea la prima vedere. Pentru a putea conduce curentul electric, un ma-

terial are nevoie să conțină așa-numiții „electroni liberi" ce nu sînt „fixați" de către nuclee prin intermediul unor forțe de atracție prea puternice. În cazul materialelor cu structură ionică, în care un electron este „transferat" unui alt atom și „acceptat" de acesta ca propriu, sau al celor cu structură covalentă, în care electronii sînt „puși în comun" de doi sau mai mulți atomi, eventualitatea mobilității electronilor este exclusă, iar respectivele substanțe sînt izolatoare.

Marea majoritate a polimerilor sintetici sau naturali fac parte tocmai din această ultimă categorie. Dar printre ei se numără și o clasă cu totul specială de macromolecule: cele care cuprind legături duble dispuse alternativ în lungul catenei. Cel mai simplu exemplu de asemenea polimer este poliacetilena. Dublele legături alternative (conjugate), existente atît în izomerul *cis* cît și în cel *trans*, nu sînt însă perfect localizate, iar simplele legături dintre atomii de carbon devin și ele „semiduble". Sub aspectul structurii electronice, acest fapt se traduce printr-o delocalizare a electronilor, printr-o mobilitate sporită a lor între atomii ce compun lanțul hidrocarbonat. Ca urmare, cel puțin teoretic, un curent electric poate fi transmis în lungul moleculei filiforme a polimerului.

Încercările de a transpune în practică aceste aserțiuni teoretice nu au dat însă decît rezultate submediocre: polimerii cu structură conjugată obținuți în diferite laboratoare ale lumii aveau într-adevăr o conductibilitate electrică mai mare decît cea a materialelor plastice obișnuite, dar mult inferioară chiar semiconductoarelor anorganice.

La începutul anilor '70, pe baza experienței dobîndite în cazul așa-numiților „compuși cu transfer de sarcină", s-a încercat doparea polimerilor conjugați. Rezultatele au fost extrem de spectaculoase. Prin introducerea unor molecule acceptoare de electroni de genul halogenilor — clor, brom, iod — sau al pentafluorurii de arsen, la transpoliacetilenă conductivitatea electrică a crescut brusc, de la 10^{-5} $ohm^{-1}cm^{-1}$ la 500 $ohm^{-1}cm^{-1}$. Cu alți dopanți, cum ar fi pentaclorura de antimoniu, acidul sulfuric sau percloric etc., se pot atinge chiar valori superioare, de 1 000 $ohm^{-1}cm^{-1}$. Ne situăm astfel în plin domeniu al caracteristicilor metalice.

Pe de altă parte, compușii conjugați de tip $(CH)_n$, dopați cu molecule donoare de electroni cum ar fi, de exemplu, amoniacul, s-au dovedit a fi izolatori perfecți, cu conductivități de 10^{-9} $ohm^{-1}cm^{-1}$. Cu alte cuvinte, printr-o folosire judicioasă a dopanților se poate modifica o proprietate extrem de importantă a unui material, cum este capacitatea sa de a conduce curentul electric, cu mai multe ordine de mărime.

O explicație unanim acceptată a fenomenului nu a fost încă elaborată. Cea mai răspîndită concepție consideră că dopanții acționează în cadrul cristalelor de polimeri conjugați în mod identic ca în masa semiconductoarelor anorganice. O altă părere de oarecare circulație afirmă că prin dopare se obțin „insule" de structuri metalice și că abia după unirea acestor insule apare fenomenul de conductibilitate electrică. Oricare ar fi adevărul — cercetări ulterioare aprofundate îl vor stabili fără îndoială —, perspectivele aplicării acestei descoperiri sînt de pe acum extrem de interesante, iar pentru viitor promit o adevărată revoluționare a domeniului.

Sub aspect tehnologic, obținerea polimerilor cu duble legături conjugate nu ridică probleme de o dificultate prea mare. Prin simpla trecere a unui curent de acetilenă gazoasă pe suprafața unei soluții de catalizatori stereospecifici se formează o peliculă de poliacetilenă. Cum însă ea conține, la temperatură obișnuită, amestecul ambilor izomeri, *cis* și *trans*, cercetătorii japonezi au elaborat o tehnică ceva mai sofisticată de obținere a filmelor de poliacetilenă. „Materia primă", acetilena, este introdusă într-un vas de reacție pe ai cărui pereți a fost pulverizată în prealabil soluția de catalizatori. Funcție de temperatura de lucru se poate obține numai izomerul *cis* (la —78 °C) sau izomerul *trans* (la 150 °C).

Din filmul depus se decupează apoi porțiuni cu grosimea de circa 0,5 mm. Acestea sînt expuse sub vid, la temperaturi obișnuite, timp de circa trei ore, la acțiunea unor vapori de halogeni sau alți dopanți. Cînd filmul a absorbit o cantitate de dopant echivalentă cu circa 1% din greutatea proprie, operațiunea este considerată încheiată: supusă testelor, pelicula prezintă o conductibilitate electrică asemănătoare cu cea a metalelor.

Desigur, nu se pune deocamdată problema înlocuirii conductoarelor de cupru sau argint în circuitele electrotehnice sau electronice, deși criza minereurilor „clasice" din care se obțin aceste metale devine tot mai amenințătoare. Mai mult, prin expunere mai îndelungată la aer, peliculele de poliene dopate își pierd proprietățile datorită adiționării oxigenului atmosferic la dublele lor legături. Dar însuși faptul că s-au sintetizat asemenea materiale reprezintă o mare promisiune pentru viitor. Ele ne permit să întrevedem nu numai posibilitatea apariției conductoarelor din .. plastic, ci și a unor componente electronice, de tipul diodelor sau a celulelor fotoelectrice din același material.

Și mai spectaculoasă încă pare să fie promisiunea chimiei moderne de a realiza, cu ajutorul polimerilor sintetici, supraconductibilitatea.

Ce este supraconductibilitatea și cum se explică ea? Electricitatea dinamică (curentul electric) reprezintă propagarea unui flux de electroni de la un potențial (voltaj) mai mare la unul mai scăzut. Electronii se pot mișca liber prin vid și destul de ușor prin gaze rarefiate. Pe un asemenea curent se bazau tuburile electronice.

Majoritatea lichidelor, cum ar fi de exemplu benzina, alcoolul, bromul, apa distilată nu conduc curentul electric. Sărurile topite ori dizolvate în solvenți polari, cum este apa, precum și soluțiile apoase de acizi ori de baze conduc curentul electric. În acest caz însă conducția se face prin ioni, nu prin electroni, iar trecerea curentului este legată de transportul de materie de la un electrod la altul.

Un rol aparte îl joacă transportul electricității prin metale. Fie solide, fie topite, ele conduc curentul electric fără transport de materie, semn că în ele electronii se pot deplasa aproape la fel de liber ca în vid. În realitate, metalele sînt constituite din ioni pozitivi și un „gaz" sau „nor electronic", ceea ce explică conductibilitatea lor. Cu scăderea temperaturii, oscilațiile ionilor se reduc, mărindu-se conductibilitatea.

Semiconductoarele sînt solide (siliciu, germaniu, adică elemente din grupa a IV-a a sistemului periodic, ori combinații de elemente din grupele a V-a și a III-a, cum ar fi arseniura de galiu) care conduc electricitatea datorită unor impurificări controlate cu elemente din grupele a

III-a ori a V-a. Cu scăderea temperaturii, se micșorează numărul purtătorilor de sarcină, deci se reduce conductibilitatea semiconductoarelor.

În anul 1911, olandezul Heike Kamerlingh Onnes din Leiden a descoperit că, răcind cu heliu lichid la temperaturi de cîteva grade peste zero absolut (între 3 și 10 K) unele metale, acestea își măresc brusc conductibilitatea reducîndu-și la zero rezistența electrică: mercurul devine „supraconductor" sub 4,2 K, plumbul sub 7,2 K, staniul sub 3,7 K.

Din păcate, temperaturi atît de joase nu se pot atinge decît cu ajutorul heliului lichid, care este un element ce se va epuiza curînd. El se extrage în S.U.A. și U.R.S.S. din gazele naturale rare și este atît de ușor și de inert încît nu este reținut de gravitația terestră, pierzîndu-se în Cosmos. Viteza medie a atomilor de heliu în condiții normale este mai mare decît viteza de scăpare în cosmos. La moleculele mai grele, cum sînt apa, oxigenul, azotul și toate gazele rare, viteza lor medie este mai mică decît viteza de scăpare în cosmos; de aceea ele sînt reținute în jurul Pămîntului. Doar Soarele ori planetele grele, ca Saturn sau Jupiter, pot reține atomii de heliu sau moleculele de hidrogen datorită masei mai mari, deci forței gravitaționale superioare a acestor corpuri cerești.

S-au căutat intens materiale care să fie supraconductoare la temperaturi mai înalte, în jur de 20 K cît este temperatura la care fierbe, la presiunea atmosferică, hidrogenul. Prin numeroase cercetări s-au găsit unele aliaje metalice supraconductoare: vanadiu-siliciu (sub 17 K), niobiu-staniu (sub 18 K), niobiu-aluminiu (18,7 K), niobiu-germaniu (sub 23,2 K). Din cauza costului ridicat al acestor materiale și al agentului de răcire, supraconductibilitatea nu și-a găsit în practică, pînă în prezent, decît o singură aplicație: realizarea unor electromagneți puternici, folosiți în aparatele de rezonanță magnetică nucleară.

Și totuși, cîte realizări tehnice remarcabile ar permite supraconductibilitatea! Dacă ea ar putea fi realizată la temperaturi mai puțin scăzute, ar deveni posibile: transmiterea fără pierderi a energiei electrice la mari distanțe; motoare electrice mult mai puternice; calculatoare electronice de capacități nelimitate etc. Una din aplicațiile cele mai spectaculoase s-ar situa în domeniul transporturilor.

În 1933, germanul Meissner a observat că un magnet este respins de o suprafață supraconductoare, dat fiind că liniile magnetice de forță nu pot pătrunde în interiorul supraconductoarelor. Deci, un vehicul cu „tălpi" magnetice ar pluti deasupra unor șine supraconductoare.

Au trebuit să treacă 46 de ani de la descoperirea supraconductibilității pînă la explicarea ei teoretică. În 1957, J. Bardeen, L. N. Cooper și J. R. Schrieffer au arătat că în timp ce conductibilitatea se datorează deplasării electronilor izolați sub acțiunea unei diferențe de potențial, supraconductibilitatea solidelor se datorează deplasării unor perechi de electroni! Pentru descoperirea lor, cei trei cercetători americani au primit Premiul Nobel în 1972 (Bardeen este singurul om care are două premii Nobel în fizică, el fiind și unul din descoperitorii tranzistoarelor).

Cum pot oare perechile de electroni, încărcați ambii negativ, să-și coreleze mișcările pentru a se deplasa și de ce o pereche de electroni este mai puțin stînjenită de vibrațiile rețelei cristaline decît un singur electron? Iată întrebări legitime. Fizicianul sovietic L. Landau discutase posibilitatea intervenției perechilor de electroni ca mediatori ai supraconductibilității, iar americanul W. A. Little propusese polimeri organici supraconductori (încă ipotetici) chiar la temperatura camerei.

Atunci cînd într-o rețea metalică cristalină se deplasează un electron, ionii pozitivi sînt atrași de-a lungul traiectoriei acestuia, creînd o zonă de exces de sarcină pozitivă ce atrage un electron în sens contrar. Se creează astfel o pereche de electroni cu mișcări ce se oglindesc unul pe celălalt (o „pereche Cooper"), centrul de greutate al perechii rămînînd fix. Vitezele de deplasare a electronilor sînt însă mult mai mari decît vitezele cu care vibrează ionii în rețeaua metalică. La temperaturi mai mari decît temperatura de apariție a supraconductibilității și electronii și ionii au agitații vibraționale prea mari ca să se poată observa formarea de perechi Cooper. Sub această temperatură, datorită acțiunii unei diferențe de potențial, centrele de greutate ale perechilor de electroni Cooper pot migra fără a întîmpina vreo rezistență, fiindcă „legătura" dintre electronii unei perechi Cooper are o energie mare, mult superioară celei necesare pentru a „împrăștia" un electron izolat.

În anul 1980, colaborarea dintre chimistul danez Klaus Bechgaard și fizico-chimistul francez Denis Jerome a dus la obținerea primelor semiconductoare organice. Se cunosc încă de cîțiva ani unii complecși cu transfer de sarcină formați între donori organici de electroni ce rămîn încărcați pozitiv — tetratiofulvalena, tetraselenofulvalena sau tetrametilderivatul acesteia din urmă, TMTSF — și acceptori de electroni care dau anioni — 7, 7, 8, 8 tetracianoparachinodimetanul, percloratul sau hexafluorofosfatul.

Sărurile acestor radicali au luciu și conductibilitate metalică. Acest fapt se explică prin structura lor cristalină deosebită, evidențiată prin analiza cu raze X. Analizele au arătat că în rețeaua cristalină există „culoare", unde orbitalii electronici se întrepătrund de-a lungul unei direcții a monocristalului. Asemenea „metale organice" sau conductoare unidimensionale și-au găsit aplicații în electronică.

Aspectul cel mai interesant îl reprezintă însă observația făcută de specialiști privind variația conductibilității electrice a acestor săruri cînd scade temperatura. Percloratul TMTSF devine supraconductor sub 1,2 K la presiunea normală, iar sărurile TMTSF cu alți anioni sînt și ele supraconductoare la presiuni ridicate (la care moleculele sînt silite să se apropie, întrepătrunzîndu-și orbitalii moleculari).

Acesta nu este însă decît începutul. Marea varietate a compușilor organici, unde structura poate fi variată, practic, la infinit, va permite, probabil, realizarea de supraconductoare la temperaturi superioare celor atinse cu metale. În prezent, calculele arată că în jur de 30 K există condiții pentru ca să se poată obține perechi Cooper în compuși organici. Întrebarea care se pune este dacă va fi posibil să se obțină supraconductibilitate la temperatura azotului lichid (70 K) care, spre deosebire de heliu este ieftin și disponibil în cantități mari și nu este nici inflamabil, așa cum este cazul hidrogenului. Atunci se va putea face într-adevăr saltul mult așteptat pentru o largă aplicare a supraconductibilității în tehnică, transport, electronică și calculatoare.

Dar cu aceasta materialele plastice nu și-au epuizat nici pe departe posibilitățile de a produce mari surprize în electrotehnică. Mai mult, ele ar putea aduce un foarte

important reviriment într-un domeniu unde situația este departe de a fi satisfăcătoare. Într-adevăr, o importantă ramură a electrotehnicii, ne asigură specialiștii, se află în pragul unei serioase crize: fără modificări de concepție radicale, fără schimbarea drastică a materialelor și a tehnologiilor de realizare, clasicul dar — în prezent și în perspectivă — atît de necesarul domeniu al fabricării bateriilor și acumulatoarelor electrice va fi confruntat, în curînd, cu dificultăți insurmontabile.

Afirmațiile nu sînt, din păcate, deloc hazardate. În primul rînd, metalele neferoase cu ajutorul cărora sînt confecționate generatoarele electrochimice devin, pe zi ce trece, tot mai greu de obținut. Zăcămintele cunoscute de minereuri convenționale nu mai asigură producerea unor metale de importanță esențială pentru această ramură, cum ar fi zincul, plumbul, cuprul, argintul, nichelul etc., la actualele ritmuri de exploatare, decît pentru perioade de timp ce nu depășesc cîteva zeci de ani.

Pe de altă parte, de la data apariției primelor acumulatoare cu plumb (1859) sau a bateriilor uscate Leclanché (1870), prea puține lucruri s-au schimbat în însăși concepția de realizare a pilelor electrice. Într-adevăr, principiul ce stă la baza producerii curentului electric în asemenea generatoare a rămas același: doi electrozi confecționați din substanțe A și B intră în reacție pentru a forma produsul AB.

Marea dificultate constă însă tocmai în transformarea energiei de reacție în electricitate și nu în căldură, așa cum s-ar întîmpla dacă A și B ar fi pur și simplu amestecate. Pentru a obține curent electric trebuie ca A să fie transformată în ioni pozitivi A^+, iar B în ioni negativi B^-. În vederea împiedicării reacției directe dintre substanțele ce compun electrozii, aceștia sînt separați printr-un electrolit ce permite trecerea ionilor, dar nu și a atomilor sau electronilor. Ca urmare, în interiorul generatorului electrochimic vom înregistra un flux de ioni ce se deplasează pentru a forma la interfața electrozilor produsul AB, iar în circuitul exterior un curent electric de o intensitate egală cu cel ionic.

Ceea ce deosebește o baterie de un acumulator este capacitatea celui din urmă de a fi „reîncărcat". Dacă în cazul unei baterii reacția de formare a substanței AB nu

are loc decît o singură dată, după care bateria se aruncă, în cazul acumulatorului AB poate fi disociat din nou în A^+ și B^-, iar aceștia depuși din nou pe electrozii de pe care s-au deplasat. Cum? Prin intermediul unui curent electric de sens invers, aplicat de data aceasta acumulatorului însuși, care devine apt pentru o nouă utilizare.

Cum, din păcate, substanțele capabile de a fi întrebuințate în asemenea procese nu sînt nici numeroase, nici abundente, nici ieftine, problema crizei pilelor electrochimice este mai mult una de materiale decît una de principiu. Și totuși, în urma cercetărilor deosebit de asidue desfășurate în laboratoare de electrochimie de pe cele mai diferite meridiane și paralele ale Terrei pare să se contureze o soluție neașteptată. Este vorba, nici mai mult, nici mai puțin, decît despre baterii și acumulatoare din . . . materiale plastice.

La baza acestei surprinzătoare alegeri stă constatarea că un polimer sintetic, cum este de exemplu poliacetilena, material prin excelență izolator, poate deveni bun conducător electric dacă este „impregnat" cu anumite substanțe, numite dopanți. De ce nu s-ar putea prepara, în același mod și electrozi din materiale plastice? Foarte poroasă și în același timp foarte ușoară, poliacetilena se pretează foarte bine unei asemenea operații. Cu cît este mai mare cantitatea de substanță A introdusă în anod și B înmagazinată în catod, cu atît mai mare va fi cantitatea de energie pe care o va furniza viitoarea baterie. Pentru catod poate fi ales iodul, iar pentru anod sodiul, adică elemente foarte ușoare, fapt ce va conferi o greutate redusă bateriei însăși.

Sînt asemenea modele de generatoare electrochimice numai niște simple idei tehnice neverificate de „proba de foc" a practicii? Nicidecum. Aproape concomitent, o echipă de cercetători de la Universitatea din Pennsylvania, S.U.A., și un grup de specialiști francezi au brevetat, independent unii de alții, două tipuri de baterii electrice avînd la bază aceste aserțiuni teoretice.

În cadrul primei variante, cea americană, doi electrozi din poliacetilenă dopată sînt cufundați într-un electrolit lichid special. El nu este altceva decît o soluție de perclorat de litiu în carbonat de propilenă. Atunci cînd cei doi electrozi sînt interconectați, ia naștere un potențial electric

de 3 volți. Curentul electric generat are o intensitate de 2 miliamperi și este capabil să pună în mișcare un mic electromotor. Dacă în momentul în care pila s-a descărcat, acesteia i se aplică un curent continuu provenit de la un generator, au loc electroliza electrolitului și doparea simultană a celor doi electrozi de material plastic. Impregnarea lor cu alte două substanțe active A și B nu înseamnă altceva decît reîncărcarea acumulatorului.

Cea de-a doua variantă face și ea apel la electrozii din poliacetilenă dopată — acest material prezintă avantajul deosebit de a avea nu numai o densitate extrem de scăzută în comparație cu electrozii clasici de plumb, nichel, zinc etc., ci și de a putea fi prelucrat cu mare ușurință în bare sau folii —, dar recurge, în locul electrolitului lichid clasic, la unul . . . solid.

Cum este posibil acest lucru? Se știe că solidele cu structură ionică sînt formate din atomi ionizați pe care atracția electrostatică reciprocă îi reunește într-o rețea cristalină de un tip oarecare: cubică, tetraedrică, hexagonală etc. În mod teoretic, un solid ionic este un izolator perfect, deoarece electronii liberi nu există, ei fiind foarte puternic „legați" de nucleele atomilor, iar ionii, la rîndul lor, aranjați în rețeaua rigidă a cristalelor, sînt imobilizați complet. Abia dizolvarea lor în apă sau un alt solvent polar le conferă mobilitatea necesară transmiterii sarcinilor electrice de la un electrod la altul. Și totuși, în practică lucrurile nu stau tocmai așa. Un cristal de clorură de sodiu introdus într-un circuit de curent continuu lasă să treacă o anumită cantitate de electricitate.

Explicația fenomenului este destul de simplă. În interiorul unui cristal ionic există numeroase neregularități, așa-numitele „defecte de rețea". Ele constau în lipsa unor ioni din punctele geometrice ale rețelei și din aglomerarea lor în interstiții. Sub influența cîmpului electric, o anumită parte a ionilor se poate deplasa pas cu pas, din interstițiu în interstițiu, din lacună în lacună, provocînd apariția unui curent de o anumită intensitate.

Procesul poate fi mult accelerat: cum conductibilitatea este proporțională cu concentrația defectelor în unitatea de volum, aceasta din urmă poate fi crescută prin introducerea unor ioni străini în cristal. Printr-o alegere judicioasă a „impurificanților" și a concentrației acestora se

poate atinge o concentrație a defectelor comparabilă cu cea a punctelor ocupate din rețea, fapt ce conferă cristalului o conductibilitate electrică foarte ridicată. Un asemenea material este numit superconductor ionic sau electrolit solid.

Printre electroliții solizi cunoscuți astăzi se numără și iodura de argint impurificată cu rubidiu. Corespunzătoare formulei generale $RbAg_4I_5$, substanța permite migrarea ionilor metalici prin interstițiile matricei voluminoase a rețelei ionilor de iod. Tocmai la acest electrolit au făcut apel specialiștii francezi. Avantajul unei asemenea pile electrice constă tocmai în structura sa compactă, ce permite reacția substanțelor active A și B depuse în electrozii de poliacetilenă, indiferent de poziția în spațiu a generatorului electrochimic. Se elimină, în plus, pericolul scurgerilor de electrolit lichid datorită neetanșeităților. În sfîrșit, o asemenea structură împiedică difuzia și reacția lentă a substanțelor active prin electrolitul lichid, fapt ce conduce la așa-numitul fenomen de autodescărcare. Ca urmare, o baterie nu se mai „epuizează", chiar neutilizată, după un anumit timp de fabricare.

Atuurile de care dispun noile tipuri de baterii și acumulatoare sînt foarte puternice: nu este vorba aici numai de greutățile și gabaritele mult mai reduse — deși, în paranteză fie spus, numai acest avantaj le poate conferi un larg „succes de public" în cele mai diferite domenii —, ci și de durata lor de funcționare, de cinci ori mai mare decît a generatoarelor electrochimice clasice. Mai mult, dacă în prezent cele mai bune generatoare electrochimice sînt garantate pentru o perioadă de depozitare de cel mult doi ani, pentru cele din material plastic acest termen este de 10 ani.

Datorită unor asemenea calități, precum și unor alte avantaje, ce țin de accesibilitatea materiilor prime necesare fabricării lor, afirmă inventatorii, noua generație de pile electrochimice se va impune, nu peste multă vreme, în tehnica mondială. Ele ar fi de pe acum competitive în domeniul alimentării aparatelor de mică putere cum sînt, de exemplu, ceasurile electronice.

Porniți în căutarea unor materiale capabile să satisfacă exigențele de multe ori extraordinar de severe ale tehnicilor actuale și de perspectivă — rezistență mecanică

superioară celor mai bune oțeluri speciale, combinată cu duritate și rigiditate, cu rezistența la acțiunea unor agenți corosivi extrem de agresivi și cu conservarea formei, dimensiunilor și proprietăților chiar după o îndelungată expunere la temperaturi înalte —, oamenii de știință au redescoperit acum, în pragul mileniului III, o tehnică străveche: amestecarea mai multor componente.

Principiul acesta extrem de simplu stă la baza obținerii unora dintre cele mai revoluționare materiale ale tehnicii actuale: compozitele. Ele nu sînt altceva decît amestecuri de materiale plastice, sau, uneori, de metal — denumite matrice — în masa cărora se dispersează fibre de „armare". Cu o aranjare întîmplătoare sau, din contră, ordonate în țesături stratificate sau chiar în structuri spațiale, acestea pot fi constituite din sticlă, carbon, bor, carbură de siliciu etc.

Dar de ce fibre? La această justificată întrebare se poate răspunde că, oricît ar părea de ciudat, rezistența mecanică a unui material este mult mai mare atunci cînd el se prezintă sub formă de fibre decît în cazul unui bloc. Într-adevăr, „arhitectura" cristalină este departe de a fi, în practică, atît de perfectă pe cît ar trebui să fie conform teoriei. Defecte de structură pot apărea atît în interiorul cristalelor, cît și la suprafața solidului. Microfisurile superficiale se pot adînci, iar incluziunile și discontinuitățile din interiorul materialului vor permite alunecarea straturilor, conducînd în final, în cazul unor solicitări uneori destul de puțin intense, la rupere. În cazul fibrelor însă, probabilitatea formării unor defecte de suprafață este mult limitată, iar „alinierea" moleculelor în lanțuri paralele, prin intermediul unor tehnici sofisticate de etirare, de întindere, le conferă un plus de rezistență. Ca urmare, fibrele de sticlă de exemplu, au o rezistență mecanică de cinci ori mai ridicată decît cea a unui bloc din același material.

Dar abia răspîndirea fibrelor de sticlă în interiorul unor matrice de masă plastică a reușit să demonstreze superioritatea unui asemenea material. Fiind astăzi cele mai răspîndite dintre compozite — materialele armate cu fibre de sticlă dețin circa 90% din producția mondială —, ele își găsesc deja nenumărate aplicații, de la construcții civile și industriale la automobile, de la realizarea de re-

zervoare de mare capacitate — 100 pînă la 1 000 m^3 —, extrem de ușoare și rezistente la coroziune, și pînă la palele rotoarelor de elicopter care, datorită prezenței unor straturi succesive de țesături de fibre de sticlă impregnate cu rășini epoxidice, sînt preferate de specialiști celor metalice, deoarece rezistă mult mai bine solicitărilor date de tracțiunea, flexiunea și torsiunea la care sînt supuse în timpul zborului și nici nu „îmbătrînesc" atît de repede. Mai mult, palele din materiale compozite sînt extrem de rezistente la șocuri, fiind capabile să reteze fără dificultăți bîrne de lemn cu secțiuni de 20×20 cm. În sfîrșit, nu demult, de pe șantierele navale britanice a fost lansat vasul „Brecon", în lungime de peste 60 m și cu un deplasament de 625 de tone, cel mai mare vapor maritim ale cărui cocă și suprastructuri sînt realizate în întregime din materiale plastice armate cu fibre de sticlă.

Cu circa 15 ani în urmă, oamenii de știință au avut ideea de a încerca să înlocuiască fibrele de sticlă cu cele de bor, materialele astfel obținute fiind considerate, virtual, mult mai rigide. Pentru a fabrica însă asemenea fibre, a fost nevoie de punerea la punct a unei tehnici deloc simple: borul în stare de vapori era depus pe un filament de tungsten cu o grosime de cîțiva microni. „Bagheta" de bor cu miez metalic s-a dovedit a avea, la un diametru de circa 140 de microni, un modul de elasticitate de peste șase ori mai mare decît cel al fibrei de sticlă. Iată motivul pentru care aluminiul ranforsat cu fibre de bor este de două ori mai rezistent decît cele mai bune oțeluri, la o densitate de trei ori mai mică. Nu este deci deloc de mirare că un asemenea material a fost ales de către constructorii de avioane australieni pentru confecționarea trenurilor de aterizare, piese supuse unor presiuni gigantice. Din păcate, prețul de cost ridicat — fibrele de bor se pot obține în prezent numai individual, una cîte una — limitează deocamdată răspîndirea lor mai largă în diferitele domenii ale tehnicii, producția mondială cifrîndu-se în 1980 la numai 100 de tone.

Aceste inconveniente sînt înlăturate însă în cazul fibrelor de carbon. Apărute pe la sfîrșitul anilor '60, ele și-au cîștigat foarte rapid, datorită calităților lor cu totul ieșite din comun — față de fibrele de sticlă, de exemplu, ele dispun, la o densitate de numai 1,9 în loc de 2,6, de

o rigiditate de trei pînă la nouă ori mai ridicată — nu numai „considerația" tehnicienilor, ci și un loc important pe piața mondială a compozitelor.

În clasificările specialiștilor, prima dintre „familiile" compozitelor pe bază de fibre de carbon este cea a termorezistentelor (matrice din materiale plastice speciale — termorigide sau elastomeri pe bază de siliciu — în masa cărora sînt dispersate fibrele cu diametre de circa 7 microni, de cele mai multe ori întrețesute). Cum asemenea materiale rezistă foarte bine la temperaturi înalte, de ordinul a 2 000°C, și au densități destul de reduse, ele sînt utilizate în construcțiile aerospațiale pentru protecția propulsoarelor reactive ale rachetelor balistice și spațiale, pentru confecționarea rezervoarelor de propergoli solizi și a ajutajelor etc. Firma „Boeing", de exemplu, speră ca prin folosirea pe scară mai largă a compozitelor termorezistente să realizeze în cazul avionului B-767 o reducere a greutății de peste o tonă.

O altă familie, cea a compozitelor carbon-carbon, posedă calități cu totul remarcabile: nu numai că ele suportă extrem de bine temperaturile înalte, ci rezistă de asemenea cu succes la tracțiuni, compresiuni și torsiuni considerabile, în stare să distrugă alte materiale clasice. Fabricarea lor este însă un proces foarte laborios. Mai întîi se confecționează carcasa; din minusculele filamente de carbon se „țese" o structură spațială complexă în cadrul căreia fibrele sînt orientate în 3—6 direcții. Operația decurge de cele mai multe ori manual, firmele care au reușit să pună la punct „războaie" pentru asemenea scopuri fiind foarte puține în lume la ora actuală. Apoi are loc umplerea „formei" ce se realizează fie prin impregnare cu gudroane de la distilarea cărbunelui, urmată de calcinare la temperaturi înalte (circa 1 000°C pentru carbonizare și peste 2 500°C pentru grafitare), fie prin condensarea vaporilor de carbon în interstițiile carcasei. De multe ori se recurge la ambele procedee combinate. Controlul calității operației este extrem de sever, fiind utilizate curent metode ca microscopia electronică cu baleiaj sau examinarea, porțiune cu porțiune, a piesei cu ajutorul fasciculelor laser.

Evident, produsele unor asemenea tehnologii sînt destinate domeniilor de vîrf ale tehnicii, cum ar fi rachetele

sau avioanele. Aparatul francez „Mirage 2 000", spre exemplu, va fi echipat cu discuri de frînă confecționate din compozite carbon-carbon. Față de cele mai bune oțeluri existente în prezent, ele au avantajul de a rezista mai bine imenselor solicitări mecanice de la aterizare, de a putea absorbi o cantitate mult mai importantă de căldură și, nu în ultimul rînd, de a avea o greutate de două ori mai mică.

În ultima vreme, o dată cu trecerea la producții mai importante și cu scăderea prețului fibrelor minerale, compozitele au tendința de a pătrunde și în domenii mai obișnuite. Astfel, în Japonia, țară ce acoperă aproximativ 75% din necesarul mondial actual de fibre de carbon, s-a trecut la fabricarea în serie mare a materialului sportiv tocmai pe baza unor asemenea materiale. Compozitele cu fibre de sticlă și de carbon promit să revoluționeze construcția de automobile, în special în ceea ce privește șasiul și caroseria, aducînd o reducere drastică a greutății acestora și deci o mai eficientă folosire a combustibilului. La rîndul lor, compozitele cu matrice ceramice, ce suportă mult mai bine acțiunea agenților corosivi, dar avînd cel puțin aceleași calități de rezistență mecanică ca și metalele, precum și densități mult mai reduse, par să fie materiale din care se vor confecționa numeroase dintre piesele viitoarelor noastre motoare. În sfîrșit, cum materialele compoziție carbon-carbon dispun nu numai de o mare rigiditate, ci sînt suportate perfect, datorită inerției lor chimice, de către organism, ele sînt foarte indicate pentru confecționarea de proteze osoase, cu deosebire a celor pentru articulația genunchiului.

La fel de atractivă ca aditivarea polimerilor cu diferite substanțe este și ... amestecarea lor, adică elaborarea „aliajelor" de polimeri. De ce aliaje, cînd este bine știut faptul că aceste structuri sînt specifice metalelor? Mai întîi, pentru că exigențele față de performanțele de care sînt capabili polimerii au crescut enorm în ultimii ani. Să inventăm noi polimeri, veți spune, cu caracteristici superioare! Soluția dă, cel mai adesea, rezultate bune, atît doar că posibilitățile de obținere a noi polimeri s-ar părea că tind să se epuizeze. Or, străvechea practică metalurgică a dovedit că prin amestecarea intimă a două materiale (metale, spune metalurgia, dar de ce neapărat me-

tale, și nu polimeri, bunăoară?) se obține aliajul, cu proprietăți noi, deosebite de ale componenților de la care s-a plecat.

Soluția pare să rezide deci nu în elaborarea de noi polimeri, ci de aliaje noi din polimeri. Imensitatea variantelor de combinații posibile este de-a dreptul dezarmantă. Și este firesc să fie așa, căci, în cazul metalelor, lucrurile sînt mult mai simple, mai ușor de prevăzut și controlat: pornind de la două metale pure, A și B, aliajul obținut nu poate fi decît AB. Asta bineînțeles, dacă A și B sînt miscibile, ceea ce, evident, reduce numărul variantelor posibile. În cazul polimerilor însă, miscibilitatea nu este o condiție indispensabilă obținerii aliajului (din fericire, căci din cauza dimensiunilor enorme ale moleculelor — lanțuri ce conțin 10^2—10^5 monomeri —, polimerii sînt rareori miscibili).

Primele rezultate în domeniul aliajelor de polimeri au avut, totuși, ca punct de plecare polimeri miscibili, cum a fost cazul cuplului polistiren (PS) — polimetilfenilen (PMF). Pornind de la cerința de a se realiza un material rezistent, ieftin, ușor prelucrabil, s-a observat că amestecarea, la temperatură adecvată, a celor doi polimeri determină modificarea proprietăților fizice ale „produsului", dar și reducerea cheltuielilor de fabricație (în raport cu PMF, foarte rezistent, dar scump și greu de prelucrat). Găsirea proporției corecte PS/PMF a dus la optimizarea costului, a calității, implicit la larga utilizare a acestui aliaj de polimeri în industria electronică și de automobile.

„Amestecarea" polimerilor miscibili poate determina însă, în unele cazuri, chiar dobîndirea de proprietăți cu totul noi față de polimerii inițiali. Astfel, doi polimeri solubili în apă, cum sînt polioxietilena și acidul poliacrilic, formează un aliaj omogen transparent, insolubil, ceea ce justifică utilizarea lui la fabricarea lentilelor de contact.

Dar cei mai mulți polimeri sînt nemiscibili. În consecință, pentru a le favoriza miscibilitatea, chimistului i se cere o mare risipă de imaginație, de inventivitate. Uneori, este suficientă simpla variație a temperaturii. Cel mai adesea însă, sînt necesare artificii de sinteză: formarea de legături de hidrogen, transferul de sarcină, crearea de interacțiuni ionice între lanțurile polimere sau „atașarea" la fiecare lanț polimer de grupări chimice care interacționează între ele. Pe această cale se pot forma aliaje eterogene, cum este cazul „amestecului" polistiren-polimetacrilat de metil, doi polimeri caracterizați printr-o categorică incompatibilitate.

De un deosebit interes pare a fi o tehnică nouă, foarte eficientă, de obținere a aliajelor de polimeri nemiscibili. Ea constă din sinteza unei rețele tridimensionale de polimer A, „umplerea" ei cu monomer B și polimerizarea ulterioară a lui B în cadrul rețelei A. Structura aliajelor astfel obținute poartă denumirea de „rețele interconectate", adică amestecuri de două rețele tridimensionale de polimeri, unite prin încolăciri permanente, fără legături covalente între ele.

Pînă acum nu ne-am referit decît la cazurile limită: aliaje omogene, formate din polimeri miscibili în orice proporție și aliaje eterogene, formate din polimeri complet nemiscibili. Recent s-a obținut o nouă categorie de aliaje polimere — aliajele marginale —, formate din polimeri a căror miscibilitate este condiționată de temperatură în raportul dintre concentrația celor doi polimeri și de lungimea relativă a lanțurilor. Prepararea lor este relativ simplă: cei doi polimeri, încălziți împreună la o temperatură ridicată, se răcesc brusc. Se va obține un nou produs, cu rezistență mecanică pe atît de pronunțată pe cît structura lui este de omogenă. De curînd, s-a obținut pe această cale, pornind de la polistiren și butadienă, un aliaj cu calități deosebite. Microscopia electronică a relevat o structură neașteptată: aliajul eterogen conține o fază continuă de polistiren (rășină) și o fază dispersată de butadienă (elastomer), ce se prezintă în general sub formă de incluziuni sferice.

Mai surprinzătoare încă sînt proprietățile mecanice ale acestui aliaj, care, deși eterogen, are o rezistență mecanică mult sporită față de cea a polistirenului pur. Mai mult, s-a constatat că, pentru un anumit raport polistiren-polibutadienă, proprietățile mecanice ale „amestecului" pot fi încă îmbunătățite dacă incluziunile prezintă, la rîndul lor, o structură fină rășină-elastomer, în straturi alternative, numită „în foi de ceapă". Iată deci o realitate care vine să contrazică o idee foarte răspîndită, devenită aproape dogmă, potrivit căreia structurile eterogene determină obligatoriu proprietăți mecanice modeste.

Un parametru caracteristic, hotărîtor pentru modalitățile de sinteză, procedeele de prelucrare și condițiile de utilizare ale unui polimer este temperatura de tranziție în stare sticloasă. La temperaturi superioare celei de tranziție polimerul este vîscos și elastic, iar sub aceste temperaturi el este dur și fragil, ca sticla obișnuită. Elastomerii termoplastici sînt aliaje de polimeri care exploatează acest fenomen.

Elastomerii sînt polimeri care, la temperatură normală, pot fi supuși, fără a se rupe, la mari deformări plastice, după care revin spontan la forma și dimensiunile inițiale. Această proprietate se datorează structurii de rețea tridimensională a polimerului, obținută prin vulcanizare (tratament chimic ce constă în crearea de legături chimice permanente între lanțurile polimere). Dar structura tridimensională, atît de favorabilă comportării elastice a polimerului, îi stînjenește prelucrarea, în timpul căreia este mai avantajoasă o structură bidimensională.

Soluția problemei: amestecarea elastomerului cu un polimer din clasa termoplastelor, avînd ca rezultat un aliaj elastomer-termoplastic. Acesta este cazul aliajului format din polistiren și o polidienă. El se comportă spontan atît ca elastomer, cît și ca termoplast, deoarece polistirenul realizează un fel de vulcanizare reversibilă. La temperaturi inferioare temperaturii de tranziție a polistirenului (circa 100°C), aliajul prezintă elasticitatea specifică elastomerilor, structura fiind tridimensională. Peste această temperatură aliajul prezintă fluiditatea termoplastelor (structură bidimensională), ceea ce permite prelucrarea lui prin metode moderne și rapide (prin injecție sau extrudere).

Cele cîteva exemple menționate nu ilustrează decît într-o mică măsură ascendența unui domeniu ale cărui posibilități și perspective sînt însă infinit mai multe și mai mari. Multitudinea combinațiilor posibile, diversitatea proprietăților, posibilitățile de optimizare a costurilor de fabricație etc., iată numai cîteva argumente în sprijinul concluziei că aliajele de polimeri vor cunoaște același succes, aceeași dezvoltare ca și aliajele metalice, devenind adevărate materiale ale viitorului.

Dar aditivarea sau alierea polimerilor nu sînt singurele metode capabile să conducă la obținerea unor materiale

cu caracteristici superioare. Uneori, în acest domeniu intervin chiar tehnologii surprinzătoare, desprinse din cu totul alte ramuri de activitate; și nu întotdeauna din cele tehnice, ci din „arsenalul" cercetării fundamentale. Iată un asemenea recent și interesant „caz". Astfel, din nou — și pentru a cîta oară? — un mare adevăr, ce tinde să fie totuși uneori ignorat, și-a dovedit din plin valabilitatea: cercetarea fundamentală, chiar dacă este costisitoare, devine pînă la urmă de o deosebită utilitate.

Cel mai recent exemplu ce demonstrează, o dată mai mult, faptul că renunțarea la studiile teoretice, considerate pe nedrept prea „abstracte", costă mai mult decît întreprinderea lor, este desprins din fizica nucleară. Timp de mai multe decenii, acceleratoarele de particule au constituit un adevărat lux în lumea științifică. Investițiile enorme, necesitate de construirea lor, și cheltuielile extrem de ridicate, legate de menținerea lor în funcțiune, făceau ca cercetările fundamentale executate cu ajutorul acestor gigantice instalații să rămînă numai apanajul cîtorva state industrializate. Căci, într-adevăr, cunoștințele noi, de multe ori de un interes mai mult academic, lipsite la prima vedere de orice interes practic, „înghițeau" fonduri uriașe.

Acesta este cazul și pentru acceleratoarele de ioni. O asemenea instalație este constituită dintr-o carcasă vidată, în lungime de aproximativ 120 m, în interiorul căreia ionii metalelor grele sînt accelerați cu ajutorul cîmpurilor electromagnetice pînă la viteze enorme, ce ajung să se cifreze pînă la o cincime din viteza luminii. Tensiunea electrică de accelerație se poate ridica pînă la incredibila valoare de 100 milioane de volți.

Fasciculele de atomi încărcați electric sînt apoi focalizate și îndreptate asupra „țintelor". Impactul nucleelor de metale — de la cele mai ușoare și pînă la uraniu, inclusiv — asupra diferitelor substanțe este studiat cu atenție, rezultatele obținute dînd indicații asupra structurii și a comportamentului atomilor sau moleculelor ce constituie respectivul material.

Iată însă că recent studiile de acest fel au început să capete și un caracter aplicativ. În laboratoarele Institutului de cercetări pentru ioni grei din Darmstadt, R. F. Germania, de exemplu, s-au obținut cu ajutorul „proiecti-

lelor“ ionice membrane cu pori calibrați ce se dovedesc deosebit de utile în . . . medicină.

Într-adevăr, pentru a pătrunde în cele mai fine vase capilare ale corpului uman, globulele roșii trebuie să fie extrem de elastice, să se deformeze ușor. Pentru verificarea acestor proprietăți a fost pus la punct un test: hematiile dintr-o probă de sînge sînt „obligate“ să treacă printr-o membrană ce are o singură deschizătură cu diametrul de 5 miimi de milimetru. Timpul necesar „alungirii“ ei, adică reducerii diametrului de la 7,4 miimi de milimetru la dimensiunile porului, și depășirii barierei impuse este un indicator al stării de sănătate a celulei, al capacității ei de a vehicula oxigenul pînă în cele mai îndepărtate puncte ale corpului.

„Piesa“ de bază a aparatului de diagnoză o constituie tocmai membrana străpunsă de un singur canal extrem de fin. Ea se obține prin perforarea cu ajutorul ionilor accelerați. De fapt, în acest caz este nevoie de izolarea, din fasciculul de nuclee metalice cu greutăți atomice cuprinse între 40 și 50, a unui singur „proiectil“. Sarcina nu este deloc ușoară, fiind îndeplinită de către un complicat sistem de filtre și fante succesive.

În alte situații este nevoie însă de o densitate mare de ioni ce lovesc suprafața țintei. Dacă un flux de nuclee metalice grele accelerate este orientat asupra unei suprafețe, iau naștere numeroase „cratere“ miniaturale. În cazul în care numărul proiectilelor este de ordinul a 100 de milioane pe centimetru pătrat, structura obținută, privită la microscop, are aspectul unui adevărat labirint, în cadrul căruia alternează haotic golurile și spațiile pline.

O asemenea structură s-a dovedit a fi o caracteristică extrem de avantajoasă în microelectronică. De ce? Deoarece pe o astfel de suprafață, chiar dacă este supusă acțiunii de vaporizare cu metale, curenții electrici nu au nici o șansă de a se propaga. Este și normal, dacă ne gîndim că orice porțiune metalizată, capabilă de a conduce curentul electric, este foarte curînd întreruptă, izolată de restul materialului prin diferențe extrem de pronunțate de nivel.

Desigur, o tehnologie capabilă să realizeze izolatori perfecți este deosebit de atractivă. În prezent izolatorii au o durată de viață limitată, mai ales datorită impurificării

lor în timp. Cu deosebire vaporii metalici ce iau naștere atunci cînd se produc flame sau alte descărcări electrice între contacte acționează nociv asupra proprietăților dielectrice ale materialelor. Toate aceste dezavantaje sînt însă complet eliminate prin intervenția bombardamentului cu ioni. Mai mult, un procedeu tehnic de acest fel creează premiza producerii de izolatori „la metrul pătrat“, ce nu trebuie apoi decît decupați și introduși în locurile dorite.

Prelucrarea suprafețelor cu ajutorul „proiectilelor“ ionice promite să revoluționeze și un alt domeniu al electronicii. Prin utilizarea unor „măști“ adecvate se poate trasa, cu o foarte ridicată precizie, orice fel de contur, oricît de complicat. După ce au fost supuse impactului ionilor metalici, suprafețele sînt curățate de aceștia cu ajutorul acizilor. Ca urmare, realizarea de „chip“-uri a căror grosime a porțiunilor conductoare nu depășește 100 Å (1 Å=10^{-10} m) devine o operațiune ce nu mai ridică dificultăți deosebite.

Trecerea la obținerea de semiconductoare prin implantare ionică, și nu ca în cazul tehnologiei clasice, prin difuzie termică — direcție abordată și de specialiștii din țara noastră —, reprezintă o altă posibilitate de intervenție a acceleratoarelor de ioni în practica industrială. În acest fel, doparea — impurificarea controlată a substratului semiconductoarelor — poate fi executată în condiții mult mai precis controlabile, cu o eficiență mult sporită.

Un alt domeniu în care acceleratoarele de ioni permit realizarea de progrese deosebite este cel al microscopiei. S-au pus chiar la punct aparate de investigare a structurilor microcosmosului ce funcționează pe baza următorului principiu: obiectul de cercetat este așezat în fața unui paravan, după care are loc iradierea cu ioni grei accelerați; traversînd masa subiectului observației, aceștia suferă un proces de încetinire, fapt care se reflectă printr-un impact mai slab asupra paravanului; după „developarea“ cu ajutorul acizilor a acestuia din urmă, se formează în masa paravanului o imagine fidelă a obiectului iradiat, ce poate fi studiată apoi în detaliu cu ajutorul microscoapelor optice clasice.

Avantajele noului procedeu constau în sensibilitatea sa — structuri cu o grosime de pînă la o sutime de miime

de milimetru pot fi făcute perfect vizibile —, precum și în eliminarea necesității „preparării" sub formă de secțiuni foarte subțiri a obiectelor studiate. Mai mult, metoda permite o „vedere" chiar în interiorul acestora, imaginile formate de către ionii accelerați fiind, de fapt „amprente" stereoscopice ale obiectelor iradiate.

Cele mai fascinante posibilități de intervenție ale acceleratoarelor de ioni sînt însă în prelucrarea datelor. Ele au în vedere realizarea calculatoarelor suprarapide cu memorie magnetooptică. Acestea oferă posibilitatea investigării practic instantanee, cu ajutorul laserului și al unor filtre de polarizare, a întregii memorii a calculatorului, spre deosebire de tipurile clasice, cu memorie magnetică, unde citirea datelor stocate se face secvențial (una după alta). Dar pentru a construi o memorie magnetooptică este nevoie de trasarea în materialul transparent și magnetizabil, a cît mai multor „insule", de dimensiuni cît mai mici, dar care să nu se influențeze reciproc sub aspectul interferenței cîmpurilor magnetice. Operația aceasta, extrem de dificilă și laborioasă astăzi, va putea fi executată mult mai ușor și mai eficient prin intermediul ionilor accelerați care vor trasa rețele extrem de fine cu o precizie deosebită.

Dar nu numai optoelectronica solicită materiale cu caracteristici nemaiîntîlnite în natură. Cazul opticii neliniare este perfect similar. Despre ce este vorba?

Pînă acum două decenii, lucrurile păreau clare în optică: atunci cînd un fascicul de radiații luminoase traversează un mediu transparent, el nu-și modifică culoarea. Cu alte cuvinte, lungimea de undă — cea care dă caracteristica culorii — rămîne neschimbată la trecerea printr-un cristal oarecare.

În anul 1961 însă această axiomă s-a prăbușit. Într-adevăr, iluminînd un cristal de cuarț cu radiația roșie, monocromatică, cu lungimea de undă de 684,3 nm a unui laser cu rubin, cercetătorii de la Universitatea din Michigan, S.U.A., au descoperit cu stupoare că lumina emergentă se compunea, în afara radiației intrate, și dintr-un fascicul de radiații ultraviolete. El avea o lungime de undă exact de două ori mai mare decît cea a luminii incidente. Această experiență neobișnuită este considerată unanim ca fiind momentul apariției unui nou

capitol al fizicii, și anume cel al opticii neliniare. Desigur, randamentul extrem de slab al conversiei, de ordinul a 10^{-9} din intensitatea inițială, putea explica faptul că fenomenul nu fusese observat pînă la acea dată. Ceea ce nu se putea explica încă erau comportamentul bizar, fenomenul optic în sine.

Cum totuși, la acea dată, cunoștințele de mecanică cuantică erau suficient de evoluate, enigma a putut fi descifrată destul de repede. Explicația, prezentată succint și simplificat, nu este dificil de înțeles. Atunci cînd o undă luminoasă pătrunde într-un material oarecare, cîmpul său electric induce o anumită mișcare a particulelor încărcate ce se află în acest mediu. Desigur, cei mai afectați de prezența radiației electromagnetice sînt electronii, mult mai mobili și mai „ușori" decît particulele ce compun nucleul atomilor. Interacțiunea se traduce prin apariția unui așa-numit „oscilator armonic" ce generează radiații de alte lungimi de undă, aflate, de regulă, în relații de proporționalitate directă sau exponențială cu lungimea de undă a radiației incidente.

Încă de la începuturile ei, optica neliniară nu numai că i-a fascinat pe cercetători prin ineditul fenomenelor cu care erau confruntați, dar a prefigurat aplicații dintre cele mai spectaculoase în telecomunicații, informatică, biologie etc.

Din păcate, un timp destul de îndelungat rezultatele concrete au întîrziat să apară. Pentru a obține aplicații interesante era nevoie de materiale adecvate opticii neliniare, adică de cristale capabile să producă, cu un randament suficient de ridicat, conversia lungimilor de undă. Analiza corelației dintre lungimea de undă a radiației incidente și structura fizico-chimică a materialului transparent a pus în evidență cîteva date de cea mai mare importanță pentru înlăturarea practicii, devenită curentă, de a „încerca" la rînd, pur empiric, diferite medii optice.

În primul rînd s-a constatat că pînă la frecvențele proprii de vibrație ale nucleelor, ansamblul atomic urmează fără dificultăți oscilațiile undei electromagnetice. La valori mult mai scăzute ale acesteia din urmă are loc absorbția de către electroni a energiei radiante. Cu alte cuvinte, tocmai între aceste două limite este necesar să

se afle frecvența radiației incidente pentru a permite apariția conversiei.

În al doilea rînd, structura cristalină și natura legăturilor chimice dintre atomii ce constituie mediul optic au și ele o importanță covîrșitoare asupra desfășurării fenomenului. Cercetările au arătat că „vînătoarea" de materiale pentru optica neliniară trebuie orientată spre ansambluri de componente moleculare avînd o configurație electronică mobilă și asimetrică, toate „aranjate" într-un edificiu cristalin lipsit de centre de simetrie. Cerințele sînt justificate dacă ne gîndim că interacțiunea radiației electromagnetice cu mediul este maximă abia atunci cînd legătura chimică dintre atomii constituenți nu este nici pur covalentă, nici pur ionică, ci intermediară între acestea două. Abia în acest caz electronii dispun de un maximum de mobilitate, iar deplasarea lor asimetrică, mai apropiată de unul dintre cei doi atomi, permite o susceptibilitate neliniară foarte pronunțată. Pe de altă parte, condiția lipsei unui centru de simetrie în ansamblul cristalin este impusă de posibilitatea ca proprietățile de neliniaritate induse la nivel molecular să se anihileze reciproc prin orientarea simetrică a componentelor.

Exigențele nu sînt, din păcate, prea ușor de îndeplinit. Astfel, abia la cinci dintre materialele optice cunoscute în prezent există unul lipsit de centre de simetrie. Randamentul de conversie depinde, de asemenea, de posibilitatea obținerii cristalului în dimensiuni suficient de ridicate, de puritatea sa înaltă, de rezistența sa mecanică adecvată proceselor de tăiere și șlefuire, de stabilitatea sa la agenții atmosferici și la expunerea prelungită la intensități luminoase mari etc.

Iată de ce chiar după ce direcțiile de cercetare au fost principial cunoscute, obținerea de materiale pentru optica neliniară nu a devenit o operațiune simplă. Aceasta fără a mai vorbi despre dificultățile pe care le ridică transpunerea la scară industrială a procedeelor ce au dus la realizarea, în condiții de laborator, a unui „cristal neliniar".

Pentru toate aceste motive, „panoplia" materialelor pentru optica neliniară este încă extrem de restrînsă. Cel mai răspîndit în prezent este niobatul de litiu ($LiNbO_3$) care este aplicabil domeniilor cuprinse între

0,37 și 5 micrometri. Eficacitatea conversiei este de circa 20%. Alte realizări de dată ceva mai recentă sînt fosfatul acid de potasiu (KH_2PO_4) destinat surselor luminoase acordabile din ultraviolet, dar a cărui susceptibilitate neliniară este destul de scăzută, seleniura de cadmiu (CdSe) pentru infraroșu și vizibil, semiconductoarele binare de tipul arseniurii de galiu etc. Toate aceste substanțe presupun tehnologii extrem de dificile pentru a fi „preparate" sub formă de cristale optice adecvate scopurilor propuse.

O geană de lumină pare totuși să se întrezărească. După ce și-au orientat cercetările timp de decenii spre substanțele minerale, specialiștii par să fi descoperit brusc minunatele și surprinzătoarele calități ale cristalelor organice. Dintre compușii luați în studiu, cele mai favorabile proprietăți par să le prezinte derivații substituiți ai benzenului sau moleculele mai complexe de tipul stirenului ($C_6H_5—CH=CH_2$) și ai stilbenului ($C_6H_5—CH=CH—C_6H_5$).

Pentru a simplifica lucrurile, să analizăm doar comportamentul primei clase de substanțe. Benzenul (C_6H_6), inelul hexagonal al celor șase atomi de carbon și hidrogen, dispune de acei electroni delocalizați, denumiți electronii π, care formează un fel de nor dispus în jurul nucleului aromatic. Introducerea unui substituent ce atrage electronii, de tipul radicalului NO_2, sau, din contră ce îi respinge, de tipul NH_2, provoacă o intensă polarizare a moleculei, deci o susceptibilitate neliniară pronunțată. Asocierea ambilor substituenți în poziția diametral opusă produce efectul maxim. Ca urmare, paranitroanilina ($NO_2—C_6H_4—NH_2$) este de zece ori mai „activă" decît nitrobenzenul ($C_6H_5—NO_2$) sau anilina ($C_6H_5—NH_2$).

Dar asemenea molecule cristalizează în forme simetrice, avînd tendința, datorită momentului dipolar, de a se aranja într-o structură „cap la coadă". Urmarea? Proprietățile lor neliniare se anulează reciproc.

Ce se poate deci întreprinde într-o asemenea situație? Nimic mai simplu. În molecula organică se introduce un așa-numit „carbon asimetric", care va impune un aranjament favorabil, adică lipsit de centre de simetrie.

O asemenea moleculă a și fost realizată. Ea este metil-aminopropanoatul, substanță ce prezintă o transparență foarte bună pentru lungimi de undă de 0,5—2 micrometri, precum și o susceptibilitate neliniară excepțională. Cu ajutorul unor cristale organice de acest fel, avînd o grosime de numai 1 mm, a fost posibilă conversia a peste 30% din radiația unui laser cu lungimea de undă de 1,06 micrometri.

Cum condițiile de sinteză și de cristalizare a substanțelor organice sînt deosebit de ușor de asigurat, cum varietatea substituțiilor promite o mare diversitate de materiale, cristalele organice vor fi, fără îndoială, cele care vor permite dezvoltarea în continuare, spre noi și nebănuite culmi, a acestui fascinant domeniu care este optica neliniară.

La rîndul ei, electronica va beneficia de aportul substanțelor sintetice ce vor înlocui în viitor iramplasabilul siliciu. Căci, într-adevăr, pentru electronica modernă, după cum remarca un reputat specialist al domeniului, siliciul este ceea ce oțelul a fost pentru revoluția industrială: nici una nu poate fi concepută în absența materialului respectiv. Și totuși dominația absolută a siliciului — materialul din care sînt confecționate aproape toate componentele electronice — pare să fie pusă, în viitor, sub semnul întrebării.

Miraculoasa substanță ce promite să revoluționeze electronica este tot un semiconductor — arseniura de galiu. Cu o structură cubică — cîte un atom de arsen în vîrfurile și pe fețele cubului și cu patru atomi de galiu dispuși regulat în interiorul acestuia —, ea a fost „suspectată" de a avea interesante proprietăți semiconductoare încă din 1953. Dar abia studiile de dată foarte recentă au permis să se întrevadă fabuloasele ei perspective.

Procesul de obținere a cristalelor de arseniură de galiu nu este cu nimic mai simplu decît cel de „fabricare" a monocristalelor de siliciu. Se știe că pentru realizarea acestora din urmă se cufundă un germene de cristalizare — un minuscul cristal de siliciu — în topitura acestui element în stare pură, după care se „trage" încet „lingoul" format. Practic, pentru obținerea unei plăcuțe de siliciu monocristalin și de puritatea necesară în electronică sînt necesare nu mai puțin de 24 de operații succesive.

În cazul arseniurii de galiu lucrurile sînt și mai complicate. În primul rînd, trebuie purificate două componente. Apoi, cum arsenul este un element volatil, „tragerea" monocristalului semiconductor din baia aflată la o temperatură de 1 200°C trebuie efectuată sub presiune. Ca urmare, un circuit electronic cu componente din această substanță costă încă de aproximativ 10 ori mai scump decît unul clasic.

Cum se explică în acest caz entuziasmul acelor specialiști care prevăd în viitor expansiunea extraordinară a „substitutului" de siliciu? Răspunsul este simplu: în afara inconvenientelor, arseniura de galiu prezintă și numeroase și însemnate avantaje.

Primul și cel mai important dintre ele îl constituie mobilitatea mult sporită a electronilor. Desigur, orice semiconductor dispune de o anumită conductibilitate electrică, dar în cazul arseniurii de galiu ea este mult mai mare decît cea a siliciului.

Pentru a înțelege mai bine în ce constă un asemenea avantaj să ne imaginăm cazul unuia dintre cele mai răspîndite componente electronice, cel al tranzistorului cu efect de cîmp: pe o plăcuță de arseniură de galiu se amplasează trei contacte electrice. Prin intermediul primului se „injectează" electroni, iar prin cel de-al treilea ei sînt „recuperați". Cel din mijloc servește drept „ecluză", împiedicînd, dacă i se aplică o tensiune negativă, trecerea curentului sau, din contră, stimulînd, dacă i se aplică o tensiune pozitivă, trecerea acestuia.

Cu cît electronii vor trece într-un număr mai mare de la contactul 1 la contactul 3 cu atît timpul de tranzit va fi mai scurt, iar circuitul electronic mai „rapid". Față de un tranzistor cu siliciu, cel cu arseniură de galiu este de trei pînă la cinci ori mai rapid. Aceasta înseamnă că semnalul transmis va putea varia mai rapid în timp sau, cu alte cuvinte, că frecvența semnalului tranzitat va fi de trei pînă la cinci ori mai mare.

Practic, un tranzistor de arseniură de galiu dopat pe un strat cu o grosime de circa 2 000 de angströmi va permite trecerea unor semnale cu frecvențe de pînă la 50 gigahertzi, în timp ce un tranzistor de siliciu cu aceeași geometrie și același dopaj nu va realiza decît aproximativ 10 GHz.

La ce ar putea servi aceste proprietăți?

Aplicațiile circuitelor electronice „rapide" sînt multiple și specifice diferitelor domenii ale acestei industrii aflate în plină și dinamică expansiune. Dintre ele, cea mai spectaculoasă este recepția directă a programelor de televiziune transmise la mari distanțe prin intermediul sateliților de comunicații.

Într-adevăr, actualele reglementări internaționale atribuie sateliților de televiziune frecvențe de emisie situate în jurul valorii de 12 GHz. Or, pentru asemenea frecvențe circuitele clasice pe bază de siliciu sînt mult prea lente. Din această cauză, recepția are loc prin intermediul unor stații de telecomunicații, unde se lucrează încă cu tuburi electronice. Iată de ce perspectiva de a avea la dispoziție un circuit electronic simplu, de mare serie, fiabil și, nu în ultimul rînd, ieftin trezește interesul și entuziasmul specialiștilor.

Proiectul unui asemenea „traductor" există deja. El este de altfel extrem de simplu ca principiu și nu necesită decît patru tranzistoare pe bază de arseniură de galiu. Semnalul cu frecvența de 12 GHz primit de la satelit este mai întîi amplificat și apoi suprapus peste un alt semnal fix, cu frecvența de 11 GHz. Rezultatul îl vor constitui, la ieșire, două semnale: unul de 23 GHz care este inutilizabil și altul de 1 GHz care poate fi „prelucrat" de această dată cu multă ușurință prin intermediul electronicii clasice.

Dar mobilitatea electronilor din rețeaua cristalină nu constituie singurul avantaj al arseniurii de galiu. Un altul îl reprezintă energia de activare mai ridicată decît cea a siliciului. Ea este de 1,1 eV pentru siliciu și de 1,43 eV pentru AsGa. Ce înseamnă acest lucru? Nimic altceva decît că în rețeaua cristalină a arseniurii de galiu există mai puțini electroni „termici". Dar aceștia din urmă sînt considerați de electroniști ca fiind extrem de indezirabili deoarece ei produc așa-numiți „curenți de fugă".

Într-un centimetru cub de siliciu, ca de altfel și în același volum de arseniură de galiu, se află circa 10^{23} atomi. Dintre numeroșii electroni ai acestora, numai 10^{15}—10^{16} sînt capabili de a se mișca liber la temperatura ambiantă. Din această cauză, materialul din care se confecționează substratul componentului este tratat prin „impurificare"

cu atomi de oxigen sau crom. Aceștia au rolul de a „capta" electronii termici, reducînd astfel posibilitățile de apariție a periculoșilor „curenți de fugă". Chiar în acest fel însă numărul electronilor termici rămîne de cca 10^{10} electroni/cm^3 în cazul siliciului, în vreme ce în cel al arseniurii de galiu el se cifrează la numai 10^7 electroni/cm^3, adică de 1 000 de ori mai puțin.

Desigur, curenții paraziți pot fi reduși sau chiar anulați. Aceasta numai cu condiția de a răci puternic întreg ansamblul. Astfel, specialiștii americani de la IBM lucrează în prezent la realizarea unui calculator de mare performanță ale cărui circuite trebuie răcite la 4 K, în imediata vecinătate a lui 0 absolut. Cercetătorii japonezi s-au orientat însă spre folosirea, în același scop, a circuitelor pe bază de arseniură de galiu. Temperatura optimă de lucru este în cazul lor de 77 K, adică de —196°C. Diferența se traduce, mai ales în contextul actualei crize energetice, prin economii extrem de însemnate.

Din păcate, stadiul actual al tehnicii nu este suficient de avansat pentru a permite fabricarea de supercomputere pe bază de arseniură de galiu. Ceea ce s-a reușit este obținerea unui circuit ce cuprinde, pe o suprafață de 5×5 cm, 2 000 de componente. Pentru a intra în domeniul circuitelor integrate competitive ar fi necesară o „îndesire" mult mai înaintată: 100 000 de componente pe o suprafață de 4×4 mm.

Cel mai mare calculator cu „piese" de arseniură de galiu, fabricat de către firma „Rockwell", este un ordinator numeric cu 1 008 componente elementare. El realizează o operație în 5 nanosecunde, adică de 10 ori mai repede decît „concurentul" său pe bază de siliciu. Dar prețul materialelor din care este confecționat este și el de 10 ori mai mare.

Pătrunderea masivă a noului înlocuitor al, deocamdată, nelipsitului siliciu nu se va realiza probabil prea curînd. O dată cu sofisticarea produselor electronice, cu necesitatea realizării de noi și tot mai ridicate performanțe, este posibil ca cheltuielile legate de prepararea monocristalelor de arseniură de galiu să scadă foarte mult prin trecerea la producții masive, conform unor tehnologii de mare eficiență, ce își așteaptă încă descoperitorii. Acel moment nu va sosi încă — și acest lucru îl susțin chiar

adepții convinși ai noului material — înainte de începutul mileniului III.

Nu mai puțin spectaculoase și de aceeași mare perspectivă sînt și aplicațiile . . . magneților lichizi.

Ideea de a conferi proprietăți magnetice lichidelor datează, se pare, de circa două secole. Într-adevăr, în 1779, fizicianul englez Gowan Knight a încercat să răspîndească mici granule de fier în apă pentru a crea magneți lichizi. Suspensia realizată de el era însă foarte puțin stabilă, pilitura de fier precipitînd imediat. Oricît ar părea de ciudat, apariția lichidelor cu proprietăți magnetice a fost posibilă abia prin intervenția tehnicii contemporane, deși principiul de obținere a rămas același. Pentru a crea suspensii magnetice ultrastabile, în care particulele solide să rămînă în permanență dispersate în mediul lichid, se cer rezolvate numeroase probleme, unele de o complexitate deosebită.

Se știe că, sub acțiunea forței gravitaționale, suspensiile au tendința de a se depune. Acțiunea este grăbită de intervenția forțelor magnetice sau de tip Van der Waals care produc „aglomerarea" particulelor dispersate. În ambele cazuri, rezultatul este același: dispariția proprietăților magnetice ale fluidului.

Soluția problemei o constituie obținerea de particule de dimensiuni atît de mici încît agitația termică a moleculelor de lichid, impulsurile transmise la impactul moleculă-particulă în suspensie să fie suficiente pentru a împiedica depunerea. În urma unor experimente laborioase s-a constatat că această dimensiune optimă se situează în jurul valorii de 100 Å.

Pentru a preveni aglutinarea particulelor, chimiștii au făcut apel la substanțe tensioactive, de tipul polimerilor sau altor substanțe macromoleculare. Depuse pe suprafața micilor granule magnetice, ele reduc pînă la anulare efectul de atracție dintre particule.

Pe baza acestui „rețetar" se obțin de mai puțin de două decenii, în cîteva țări ale lumii, suspensii de magnetită (oxizi de fier), acoperite de acid oleic, în apă sau heptan, de cobalt aditivat cu metacrilat de metil sau vinilpirolidonă în toluen etc. Gama lichidelor (apă, hidrocarburi, fluorocarboni, eteri) a agenților tensioactivi, cît și a substanțelor feromagnetice (granule de magnetită, cobalt, nichel) este astăzi suficient de largă.

În unele laboratoare se experimentează în prezent chiar o nouă metodă, pur chimică de această dată, pentru obținerea așa-numitelor ferofluide. În aceste cazuri nu se mai utilizează ca agenți stabilizatori substanțe tensioactive. Persistența în timp a proprietăților magnetice este asigurată de prezența anumitor ioni în soluție, precum și de o anumită valoare a pH-ului acesteia.

Lichidele cu proprietăți magnetice — ferofluidele, cum au fost ele numite de specialiști — trebuie să se conformeze, ca orice lichide, legii lui Bernoulli. Dar parametrilor clasici ce guvernează curgerea unui lichid, — presiunea, viteza, densitatea, diferența de înălțime — li se adaugă unul nou: cel de origine magnetică. El se manifestă sub forma unei presiuni suplimentare căreia îi este supus lichidul atunci cînd el se află într-un cîmp magnetic. În mod concret putem spune că ferofluidele au tendința de a curge spre zonele unde cîmpul magnetic este mai puternic.

Ca urmare a acestei noi legi de curgere, ferofluidele aflate în cîmp magnetic se vor orienta, de exemplu, transversal pe tubul în lungul căruia curgeau în mod normal. În alte cazuri, cînd există neregularități în distribuția liniilor de forță ale unui cîmp magnetic la suprafața ferofluidului vor apărea excrescențe conice, adevărați „țepi" de lichid.

Datorită intervenției noului factor este posibil, de asemenea, să se modifice după dorință densitatea aparentă a ferofluidului, prin simpla sa expunere la acțiunea unui cîmp magnetic neomogen. Această capacitate unică permite evidențierea unui fenomen cu totul neașteptat: levitația hidrostatică inversă.

Ce înseamnă concret acest lucru? Un corp solid nemagnetic, a cărui densitate este mai mare decît cea a ferofluidului, se va ridica de la fundul recipientului, plutind la suprafața lichidului în care fusese cufundat, în momentul în care ansamblului i se va aplica un cîmp magnetic neomogen.

Explicația? Cum cîmpul magnetic este mai intens în partea inferioară a vasului, ferofluidul va avea tendința de a se acumula împingînd la suprafață corpul mai dens. În acest fel a fost posibil să se producă plutirea unor

metale grele, cum ar fi, de exemplu, tungstenul (densitate 19,3), în lichide magnetice ce aveau în mod obișnuit, în absența cîmpului, o densitate de numai 1,3 g/cm^3.

În sfîrșit, o capsulă flexibilă umplută cu ferofluid se va deforma în prezența unui cîmp magnetic și va reveni la forma inițială atunci cînd aceasta va dispărea.

În momentul în care suspensiile cuprinzînd pînă la 10^{18} particule magnetice într-un centimetru cub de lichid au început să fie produse în cantități mari și la costuri relativ scăzute, s-a putut pune în mod serios problema penetrației lor în activitatea industrială. Dacă într-o fază inițială ele erau utilizate în mod exclusiv în laborator — unde au făcut posibilă elaborarea unor metode extrem de precise de determinare a densității și punerea la punct a unor accelerometre ce puteau decela o variație de accelerație de $\pm 10^{-5}$ g —, astăzi se vorbește tot mai mult despre eventualitatea folosirii ferofluidelor ca lichide de flotație pentru separarea metalelor grele, cu deosebire a celor nobile. Asemenea procedee se află în studiu în S.U.A. și Japonia și au fost abordate mai recent în Franța.

O altă aplicație ce își are originea în cercetările spațiale — unde problema costurilor era mai puțin luată în considerare — o reprezintă crearea unui sistem de transformare a energiei termice în energie mecanică.

„Circulația termomagnetică" a apărut inițial în încercarea de a asigura uniformitatea temperaturii într-un vehicul spațial ce este expus pe o parte radiațiilor solare, iar pe cealaltă frigului cosmic. Soluția imaginată a constituit-o un circuit închis de conducte umplute cu lichid magnetic și supus unui cîmp magnetic. În apropierea peretelui încălzit se atingea destul de rapid punctul Curie la care proprietățile magnetice dispar. Sub acțiunea cîmpului magnetic ferofluidul rece, ce își conservase proprietățile, se acumula, înlocuindu-l pe cel cald. Se realizau astfel o circulație constantă și o omogenizare a temperaturii.

De aici și pînă la ideea intercalării în circuit a unei turbine nu mai era decît un singur pas. Chiar dacă generatoarele de acest fel, aflate în prezent în studiu, au randamente destul de nesatisfăcătoare, viitorul va putea aduce surprize în acest domeniu. Prezentul consemnează însă deja apariția unor „răcitoare" ce evacuează căldura, acumulată în bobinele difuzoarelor Hi-Fi, prin intermediul acestei originale metode.

Dar ferofluidele pot fi și „fixate" de un cîmp magnetic într-un anumit loc. De exemplu, în jurul unui ax aflat în rotație. Dacă fluidul are și proprietăți de ungere — caracteristică ușor de conferit prin simpla alegere a mediului de dispersie — se realizează lubrifiantul ideal. În același mod pot fi obținute o cuplare perfectă, un „pinion" insensibil la uzură, cu o funcționare netulburată de presiuni de pînă la 100 kg/cm^2.

În sfîrșit, fenomenul imobilizării „magneților lichizi" de către cei solizi va fi aplicat, se pare, chiar și în medicină. Odată injectată o anumită cantitate de ferofluid, ea poate fi condusă prin circuitul sanguin, cu ajutorul unui cîmp magnetic, pînă la organul sau zona aleasă și „fixat" apoi acolo. În acest fel s-ar putea trata anevrismul — acea periculoasă umflare a peretelui unei artere — sau s-ar izola tumorile prin blocarea vaselor care le irigă.

Fără îndoială, magneții lichizi sînt capabili de a ne furniza, în viitor, noi și numeroase surprize.

4. Cauciucuri sintetice și fibre chimice

În marea varietate a materialelor polimere, cauciucurile ocupă un loc de frunte din punct de vedere al producției, fapt determinat de îmbinarea bunelor lor proprietăți de rezistență cu capacitatea unică și inimitabilă de a se deforma reversibil în timp scurt.

Cel mai vechi elastomer cunoscut de oameni este cauciucul natural, care se extrage din latexul secretat de arborii de cauciuc. Multă vreme, cauciucul natural a fost singurul elastomer care se producea pe plan mondial, dar, cu timpul, considerente de natură economică și politică au condus la necesitatea elaborării unor noi tipuri de elastomeri.

După primul război mondial, dezvoltarea accelerată a transportului rutier a făcut ca importanța economică și chiar strategică a cauciucului să crească foarte mult. Tradiționalele plantații de arbori de cauciuc din țările Asiei de sud-est nu mai puteau ține pasul cu dezvoltarea industriei de anvelope, iar încercările de a crea astfel de plantații în alte zone geografice au eșuat. În aceste con-

diții s-a ajuns la situația în care țările cu o puternică industrie automobilistică erau dependente, în producția lor de o bază de materii prime aflată cu mult în afara granițelor lor. A apărut astfel necesitatea de a crea tehnologii de obținere a unor elastomeri sintetici folosind o bază de materii prime autohtonă, în vederea asigurării independenței industriilor automobilistice naționale de tradiționalii exportatori de cauciuc natural.

Un mare dezavantaj al industriei de cauciuc bazate numai pe produsul natural constă în aceea că, indiferent de purtătorul vegetal al acestui cauciuc, produsul finit este întotdeauna același din punct de vedere al structurii sale chimice și, deci, și al proprietăților sale. Or, dezvoltarea industrială în general are nevoie de produși elastomeri cu o mare varietate de proprietăți, iar cercetările efectuate încă înaintea celui de al doilea război mondial au arătat, după cum afirma chimistul S. V. Lebedev, că „sinteza cauciucurilor este o sursă de materiale de o varietate infinită. Teoria nu limitează această varietate. Și dat fiind că fiecare tip nou de cauciuc este purtătorul unui complex propriu și original de proprietăți, industria cauciucului, folosind concomitent cauciucul natural și cauciucurile sintetice, va obține o mare libertate de alegere a proprietăților dorite".

Organizarea producției de cauciuc sintetic este justificată și de o serie de indicatori economici. Astfel, productivitatea unui muncitor din industria cauciucului sintetic este de 100—120 de ori mai mare decît a unui muncitor de la plantațiile de arbori de cauciuc, investițiile specifice din industrie sînt de 1,4—2 ori mai mici, iar durata de creare a unei plantații productive este de 2—3 ori mai mare decît cea a realizării unei instalații industriale.

În prezent se fabrică aproximativ 60 000 de produse care folosesc cauciucul. Din producția mondială de cauciuc circa 50—60% este consumat de industria de anvelope, iar aproximativ 25% pentru producția benzilor transportoare, curelelor de transmisie, a garniturilor, amortizoarelor etc. Un mare consumator de cauciuc sintetic este industria pielăriei și încălțămintei. O mare parte din producția de cauciuc se folosește în industria materialelor

de construcție, industria produselor tehnico-sanitare, industria bunurilor de larg consum etc.

Primele metode de sinteză au fost cele prin polimerizare sau copolimerizare în emulsie, realizate în Germania înaintea celui de al doilea război mondial. La timpul său, punerea la punct a acestei tehnologii a fost o mare cucerire în domeniul sintezei și al produșilor macromoleculari în general. Din avantajele acestei metode ar trebui menționate ușurința de preluare a căldurii de reacție, posibilitatea organizării procesului de polimerizare în flux continuu, consumuri energetice relativ scăzute, sensibilitatea scăzută a procesului la diferite impurități ce se pot afla în materia primă. Cu timpul însă au început să se facă simțite și neajunsurile acestei metode care constau în obținerea unor produși cu o structură moleculară neregulată (ceea ce are repercusiuni asupra proprietăților produsului finit), cît și în folosirea în procesul polimerizării a unui număr relativ mare de substanțe, ceea ce conduce la creșterea cheltuielilor de purificare a produsului finit.

Polimerizarea în soluție este o tehnologie pusă la punct în ultimii 20—30 de ani și are la bază descoperirea, în 1955 de către G. Natta și K. Ziegler, a unor noi tipuri de catalizatori care au produs o revoluție nu numai în sinteza elastomerilor, ci și în cea a tuturor materialelor polimere. Un mare avantaj al polimerizării în soluție cu catalizatori de tip Ziegler-Natta constă în calitatea produsului finit obținut care, datorită structurii chimice regulate, are un complex de proprietăți foarte valoros. În schimb, un mare dezavantaj al acestei tehnologii constă în aceea că desfășurarea normală a procesului cere materii prime de o puritate foarte ridicată (unii compuși chimici nu trebuie să depășească 5 părți la un milion de părți de materie primă), ceea ce conduce la creșterea cheltuielilor de purificare a materiei prime.

În prezent, prin cele două tehnologii se produc marea majoritate a celor peste 60 tipuri de elastomeri cunoscuți pe plan mondial și care, în funcție de proprietăți și domenii de folosire, se împart în cauciucuri de larg consum și cauciucuri cu destinație specială.

Ceea ce caracterizează cauciucurile de larg consum sînt o serie de proprietăți chimice și fizico-mecanice adec-

vate folosirii lor în industriile mari consumatoare de elastomeri (anvelope, produse tehnice), fapt care determină producerea lor în unități industriale de mari capacități, variind între 30 000 și 200 000 t/an. Această grupă de cauciucuri, deși numără numai aproximativ 6 tipuri de polimeri, are în producția globală de cauciuc sintetic o pondere de 80—85%.

Cel mai vechi reprezentant al acestor elastomeri și, totodată, un produs cu o pondere foarte mare în producția mondială este cauciucul butadien-stirenic sau butadien alfa metilstirenic. Ele au inaugurat seria de cauciucuri sintetice produse pe scară industrială. După aproape patru decenii de la intrarea în funcțiune în Germania a primei instalații industriale, aceste cauciucuri își mai mențin încă ponderea ridicată în producția mondială de cauciuc sintetic, făcîndu-se însă simțită, în ultimul deceniu, o scădere a acestei ponderi, mai ales datorită apariției unor noi tipuri de elastomeri, calitativ mai buni. Obținute prin tehnologia copolimerizării în emulsie a butadienei cu stirenul sau metilstirenul, aceste cauciucuri și-au găsit o largă întrebuințare în toate domeniile enumerate mai sus.

Apariția catalizatorilor Ziegler-Natta a creat pentru prima dată condițiile necesare producerii la scară industrială a unui elastomer care, din punct de vedere al structurii sale și al majorității proprietăților, să fie un analog al cauciucului natural și să-l înlocuiască complet în compozițiile din amestecurile folosite la confecționarea anvelopelor. Acest elastomer este cauciucul poliizoprenic *cis* 1,4 a cărui pondere în producția mondială de cauciuc cunoaște în ultimii ani o creștere semnificativă, preconizîndu-se ca într-un viitor nu prea îndepărtat acest cauciuc să fie produs în cantități mai mari decît orice alt cauciuc.

Producția de cauciuc poliizoprenic a fost realizată pentru prima dată la scară industrială în 1958 în S.U.A., iar apoi în 1964 în U.R.S.S. În țara noastră a fost pusă în funcțiune în 1975 prima instalație industrială de cauciuc poliizoprenic *cis* 1,4 la Borzești, iar documentele de partid prevăd ca acest cauciuc să se producă în cantități sporite în vederea înlocuirii cauciucului natural din import și a asigurării unui disponibil de export.

Calitățile deosebite ale cauciucului poliizoprenic îi permit acestuia să fie folosit la producerea de anvelope, diferite produse tehnice, încălțăminte, în industria produselor de tehnică sanitară, ambalaje, în industria bunurilor de larg consum (jucării, mingi etc.), în industria electrotehnică (ca electroizolant), în tehnica lucrărilor de vid etc.

Cauciucul butadienic este un elastomer de aceeași generație cu cauciucul poliizoprenic și foarte asemănător acestuia în ceea ce privește „biografia" lui. El se produce prin polimerizarea în soluție, cu catalizori de tip Ziegler-Natta. Spre deosebire de cauciucul poliizoprenic, care poate fi folosit ca atare în confecționarea unor produse, cauciucul polibutadienic, din cauza unor proprietăți fizico-chimice mai slabe, nu poate fi folosit decît în amestecuri cu cauciucul natural, cauciucurile butadien-stirenice sau cauciucul poliizoprenic. Aceste amestecuri devin astfel posesoare ale unor proprietăți îmbunătățite, ca rezistență la abraziune, rezistență ridicată la temperaturi joase, un interval de temperatură mai larg în care se manifestă elasticitatea etc.

Cauciucurile polibutadienice SKD (U.R.S.S.), Ameripol S. B. (S.U.A.), Kariflex B. R. (S.U.A., Franța), Europren-cis (Italia) ș.a. se folosesc în proporții diferite în izolația cablurilor, în compoziția unor produse rezistente la temperatură scăzută etc.

Pentru viitor se prevede ca în clasa acestor cauciucuri de larg consum să apară tipuri noi de produse, a căror producție va crește în general pe seama scăderii ponderii cauciucurilor butadien-stirenice obținute în emulsie ce vor fi înlocuite prin copolimerizarea butadienei cu stirenul în soluție. Se prevede că folosirea acestui elastomer (cu proprietăți mult mai bune față de omologul obținut în emulsie) va conduce în final la creșterea duratei de viață a anvelopelor cu 10—15%. Acest tip de copolimer este foarte important și datorită faptului că, în funcție de temperatura la care se află, el se comportă fie ca masă plastică, fie ca elastomer, ceea ce conduce la mari economii energetice în prelucrare.

Conturarea limitelor rezervelor de hidrocarburi impune valorificarea superioară a tuturor componenților care se obțin în industria petrolieră. În contextul acestei

preocupări se prevede pe plan mondial valorificarea prin polimerizare a unor fracții petroliere, în vederea obținerii unor noi elastomeri. Este vorba de cauciucul transpolipentenamer care a fost deja produs în instalații semiindustriale și ale cărui proprietăți se aseamănă foarte mult cu cele ale cauciucului natural, fiind chiar superioare în multe privințe.

Deși se fabrică într-o mare varietate de tipuri (circa 50), cauciucurile cu destinație specială au pondere scăzută în producția mondială globală, ele obținîndu-se în instalații de capacități mici. Prin fabricarea acestor cauciucuri se valorifică superior o serie de hidrocarburi din diferitele fracții petroliere și se creează elastomeri care, deosebindu-se între ei prin una sau mai multe proprietăți, determină domenii specifice de utilizare a lor.

Cauciucurile butadien-nitrilice, obținute prin copolimerizarea în emulsie a butadienei cu acrilonitrilul, se folosesc mult datorită rezistenței ridicate la acțiunea produselor petroliere și a altor medii agresive în industria de automobile, aviație, pentru confecționarea de garnituri, furtunuri, supape, benzi transportoare etc. Aceste cauciucuri au proprietatea de a conduce slab curentul electric și de aceea se folosesc pentru confecționarea de cabluri electrice din cauciuc. În prezent se cunosc aproximativ 200 de mărci comerciale de cauciucuri butadien-nitrilice cu foarte multe domenii de folosire.

Prin polimerizarea în emulsie a cloroprenului se obține cauciucul policlorprenic, foarte stabil la diferiți reactivi chimici. El este folosit din această cauză pentru cauciucarea aparaturii, a conductelor și rezervoarelor din industria chimică. Acest cauciuc, datorită conținutului ridicat de clor, este foarte rezistent la acțiunea focului (el arde numai în flacără, scos din foc se stinge), are o mare rezistență la acțiunea factorilor atmosferici. Cauciucurile pe bază de cloropren se folosesc ca electroizolatori, în industria aeronautică, în cercetările meteorologice la confecționarea baloanelor-sondă, în producția de adezivi pentru industria încălțămintei etc.

Fluorcauciucurile nu-și au egal în ceea ce privește rezistența la acțiunea focului și sînt foarte stabile în medii chimice agresive. Cel mai frecvent, aceste produse sînt folosite în industria automobilistică, în aeronautică, la

confecționarea de piese care vin în contact cu medii agresive. Deși este un material cu un cost foarte ridicat, consumul său pe plan mondial este în continuă creștere.

Prin copolimerizarea în soluție cu catalizatori Ziegler-Natta a unui sistem de trei monomeri (etilenă-propilenă-dienă) se obține un elastomer care se folosește pentru confecționarea garniturilor la automobile și la geamurile metalice din locuințe, a tuburilor flexibile, a parașocurilor pentru vapoare etc. Încercările de a-l folosi la confecționarea de anvelope nu au condus deocamdată la rezultate pozitive, deoarece anvelopele confecționate pe baza acestui tripolimer derapează ușor. Cercetările care se fac în prezent în lume au ca scop înlăturarea acestui inconvenient. Finalizarea cu succes a acestor studii ar permite nu numai scăderea costului anvelopelor, dar și a greutății lor, datorită densității mai mici a acestui elastomer față de cei folosiți în prezent. În țara noastră acest elastomer se produce din 1975 la Combinatul petrochimic din Pitești.

Prin copolimerizarea la temperaturi foarte scăzute (—100°C) a izobutilenei cu izoprenul se obține un elastomer care, datorită proprietății de a fi foarte puțin permeabil pentru gaze și vapori, se folosește la confecționarea de camere de automobile, iar datorită stabilității ridicate la acțiunea agenților atmosferici (oxigen, ozon, umiditate) se folosește la cauciucarea țesăturilor. Avînd bune proprietăți dielectrice, el se folosește și ca material izolant pentru cabluri.

Alături de aceste cauciucuri cu destinație specială, care formează numai o mică parte din marea varietate de cauciucuri ale acestei clase, în lume se mai produc și alte tipuri de elastomeri ca, de exemplu, cauciucurile siliconice (stabile la acțiuni termice), poliizobutadiena (inertă din punct de vedere chimic), cauciucurile poliuretanice (rezistente la abraziune), cauciucul polisulfurat (foarte stabil la acțiunea produșilor petrolieri și capabil de a se vulcaniza la temperatura camerei) etc.

O tendință care se face simțită din ce în ce mai mult în prezent este aceea a folosirii cauciucurilor sub formă de latexuri. Acestea sînt, de fapt, particule microscopice de cauciuc fin dispersate în apă. Folosirea latexurilor pentru confecționarea diferitelor produse a început în jurul ani-

lor 1920, după ce au fost elaborate în S.U.A. metodele de conservare a latexului natural. Cu timpul, însă, datorită marii varietăți de proprietăți, latexurile sintetice au întrecut în consum latexul natural. Latexurile se folosesc în prezent cu mult succes în producția de bunuri de larg consum cu aspect poros, la confecționarea de materiale nețesute, covoare etc. Cu latexuri se face impregnarea produselor textile, a hîrtiei. Latexurile se mai folosesc la fabricarea unor vopsele sau a cimenturilor polimere, în producția de piele sintetică etc.

În țara noastră, dezvoltarea cercetărilor științifice și tehnologice în domeniul elastomerilor a avut loc sub conducerea tovarășei academician doctor inginer Elena Ceaușescu. Încă în 1958 lua ființă, în cadrul Institutului de cercetări chimice — ICECHIM din Capitală secția de elastomeri, unde s-a desfășurat o valoroasă activitate științifică în domeniul cercetării fundamentale și aplicative, menită să asigure satisfacerea, pe baza producției proprii de cauciucuri sintetice, a cerințelor mereu crescînde ale economiei naționale. Aici s-au format numeroși cercetători de înaltă competență care au participat și participă în continuare la realizarea marilor programe de dezvoltare din acest important domeniu.

Intensa activitate tehnico-științifică din cadrul secției de profil a ICECHIM s-a concretizat în elaborarea tehnologiilor de sinteză și în realizarea instalațiilor industriale pentru producerea unei game largi de elastomeri necesari dezvoltării tuturor ramurilor economiei naționale. În timp ce în perioada 1965—1970 exista în țara noastră, la Combinatul Petrochimic Borzești, doar o singură instalație pentru sinteza cauciucului butadien-alfametilstirenic, denumit „Carom", după 1970 au fost posibile construirea și punerea în funcție a instalației de cauciuc poliizoprenic la Combinatul Petrochimic Brazi, a celei de terpolimer de la Combinatul Petrochimic Pitești, iar apoi a celei de cauciuc polibutadienic de la Brazi.

În anii '80 sînt în curs de industrializare tehnologiile pentru sinteza elastomerilor termoplastici, tehnologiile pentru mai multe sortimente de cauciuc nitrilic, rășini de hidrocarburi în proces continuu etc. De asemenea, se desfășoară cercetări intense privind elaborarea de procedee pentru realizarea unor noi tipuri de cauciucuri sintetice.

De altfel, cercetările științifice privind polimerizarea stereospecifică a izoprenului, ca și a altor monomeri, în vederea obținerii de cauciucuri sintetice de înaltă performanță, publicate în țară și în străinătate sub semnătura tovarășei academician doctor inginer Elena Ceaușescu, au dus faima chimiei românești în întreaga lume.

*

Una din necesitățile vitale ale ființei umane din toate timpurile a fost ca, pe lîngă asigurarea hranei, să-și procure și materialele necesare confecționării îmbrăcămintei. În acest scop, ca și în alte cazuri, omul s-a adresat naturii. Prin încercări, timp de mii și mii de ani, el a reușit să identifice diferite materiale adecvate acestui țel și să elaboreze tehnologiile necesare prelucrării lor.

Astfel au intrat în circuitul economic o serie de produse naturale ca blănurile, lîna, inul, cînepa, bumbacul, iuta, mătasea etc. care din timpul faraonilor și pînă la începutul acestui veac au asigurat în proporție de sută la sută necesitățile de îmbrăcăminte ale umanității. În toată această perioadă, progresele înregistrate s-au referit la elaborarea unor tehnologii perfecționate de prelucrare care au permis ca din aceste materii prime naturale să se obțină cantități tot mai mari de articole de îmbrăcăminte cu calități din ce în ce mai bune, precum și alte articole necesare traiului: covoare, perdele, articole de decorații interioare, funii, odgoane etc.

Un eveniment important în această perioadă l-a constituit introducerea în Europa a mătăsii din China, fapt care a generat ideea de a se încerca imitarea ei pe cale artificială, idee ce a fost realizată industrial la sfîrșitul secolului al XIX-lea de către Hilaire de Chardonet. Acesta a patentat în 1885 procedeul de producere a mătăsii ce-i poartă numele, prin filarea nitrocelulozei urmată de denitrare.

Treptat au apărut și alte procedee de preparare a unor fibre avînd la bază aceeași idee a regenerării celulozei: procedeul viscozei și procedeul cupro-amoniacal, care au lărgit considerabil baza de materii prime a industriei textile. Alături de fibrele naturale au apărut astfel fibre artificiale.

Dezvoltarea chimiei macromoleculare a permis apoi ca în jurul anului 1940 pe piața mondială să apară fibre sintetice care, spre deosebire de fibrele artificiale, au la bază polimeri sintetizați de către om.

Fibrele artificiale și sintetice, reunite sub numele generic de fibre chimice, au devenit astfel alături de fibrele naturale, o bază importantă de materii prime textile.

Explozia demografică la care asistăm pune în fața omenirii două mari probleme de rezolvat: necesitățile de hrană și necesitățile de îmbrăcăminte. Aceasta ar însemna, pe de o parte, afectarea unor suprafețe tot mai întinse pentru producții agroalimentare, iar pe de alta, sporirea suprafețelor de cultură a plantelor textile. Soluția cea mai potrivită de rezolvare a acestei contradicții o constituie, evident, dezvoltarea producerii fibrelor chimice.

În plus, creșterea necesității de confort a populației cere țesături cu calități superioare, potrivite pentru o gamă tot mai largă de produse. Multe din aceste calități, ca, de exemplu, rezistența la purtare, rezistența la insecte, neinflamabilitatea nu sînt caracteristici ale fibrelor naturale sau li se pot conferi foarte greu. Apare deci ca necesară producerea unor fibre chimice care să posede asemenea calități.

În fine, revoluția tehnico-științifică contemporană cere cantități tot mai mari de fibre tehnice cu proprietăți speciale (rezistență mecanică mare, rezistență la acizi și baze, rezistență la temperaturi ridicate etc.) pentru destinații dintre cele mai diverse, unele dintre ele necunoscute pînă de curînd: cord pentru anvelope, pînze de filtru, îmbrăcăminte de protecție, plase de pescuit, funii etc. În aceste condiții nu este deloc surprinzător că astăzi, în Europa, aproximativ 65% din totalul de fibre prelucrate sînt fibre chimice.

De asemenea, privind tabelul alăturat, în care este prezentată evoluția producției mondiale de fibre chimice pe zone geografice, se poate constata că deși în anii 1974 și 1975 criza mondială aflată la apogeul ei a afectat și acest domeniu, totuși în 1975 producția mondială a fost aproape dublă față de 1965.

(mii tone/an)

Anul	*Europa Occidentală*	*S.U.A.*	*Japonia*	*Alte țări*	*Total mondial*
1965	1 811	1 569	878	1 228	5 486
1970	2 628	2 268	1 511	1 987	8 394
1971	2 882	2 572	1 633	2 238	9 325
1972	3 049	3 032	1 601	2 565	10 248
1973	3 420	3 435	1 818	2 911	11 584
1974	3 171	3 317	1 620	3 202	11 310
1975	2 576	2 965	1 425	3 400	10 360

Conform prognozei efectuate de firma „BASF Farben und Fasern“ (R.F.G.), dacă în 1970 consumul mondial de fibre a fost de 21 milioane de tone, el a crescut la 30 milioane de tone la începuturile anilor '80 și va atinge 41 milioane de tone în 1990 și 52 milioane de tone în anul 2000. Dezvoltarea se va datora în special fibrelor chimice. Producția de lînă și bumbac va rămîne de aproximativ 11,5—12 milioane de tone, iar cea de mătase naturală de 3,5 milioane de tone, în timp ce producția de fibre chimice va fi în anul 2000 de 35 milioane de tone.

Cu alte cuvinte, dacă pînă la începutul acestui secol necesitățile de îmbrăcăminte erau satisfăcute în totalitate de produsele naturale, la sfîrșitul secolului 70% din aceste necesități vor fi satisfăcute de fibrele chimice.

Așa cum s-a mai arătat, fibrele chimice cuprind două mari domenii: fibrele artificiale și fibrele sintetice. Fibrelele artificiale sînt fibre care au la bază polimeri naturali, care printr-o prelucrare adecvată se pot transforma în fibre. Unul din polimerii naturali cei mai răspîndiți este celuloza. Iată de ce nu este surprinzător faptul că primele fibre artificiale au avut la bază celuloza și că astăzi fibrele celulozice se confundă, practic, cu fibrele artificiale.

O ramură mai recentă a fibrelor chimice care s-a dezvoltat în ultimii 40 de ani într-un ritm extraordinar o reprezintă fibrele sintetice. Aceste fibre sînt rodul dezvoltării uneia dintre cele mai moderne ramuri ale chimiei: chimia polimerilor. Sintetizarea lor a fost posibilă doar atunci cînd cercetarea a relevat caracteristicile necesare unui po-

limer fiabil: să fie filiform (adică fără ramificări sau reticuli ai catenelor); să aibă o masă moleculară potrivită; să poată fi orientat și cristalizat; să fie solubil în solvenți sau să se topească fără descompunere.

Cînd aceste cerințe au fost dezvăluite, s-a trecut la sintetizarea unor polimeri cu asemenea proprietăți. Primul care a reușit a fost H. H. Carothers care prin policondensare a reușit să obțină Nylonul 6,6. Ulterior s-a dovedit că și alte tipuri de reacții de polimerizare conduc la polimeri filabili. Importanță industrială au căpătat în special polimerizarea radicalică și cea ionică.

Odată cu apariția unor noi tipuri de fibre sintetice, la procedeele de filare cunoscute s-au adăugat altele noi: filarea din topitură și, mai recent, filarea din suspensie, filarea din semitopitură etc.

În general, schema de obținere a unei fibre sintetice este: Prepararea polimerului → Filare → Etirare → Încrețire → Fixare.

După metoda de preparare a polimerului se cunosc: • fibre preparate prin policondensare; • fibre preparate prin polimerizare radicală; • fibre preparate prin polimerizare ionică; • fibre preparate prin alte procedee. Cele mai cunoscute fibre preparate prin policondensare sînt fibrele poliamidice, fibrele poliesterice și fibrele poliuretanice.

Dintre fibrele poliamidice cele mai utilizate sînt Nylonul 6,6 și Nylonul 6. Nylonul 6,6 se numește astfel deoarece materiile prime — acidul adipic și hexametilen-diamina — au fixați cîte 6 atomi de carbon. Reacția care stă la baza preparării sale este:

$$n\,NH_2—(CH_2)_6—NH_2 + n\,HOOC—(CH_2)_4—COOH \longrightarrow$$

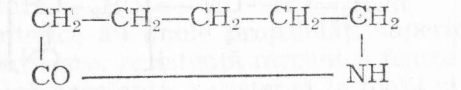
hexametilen — diamina acid adipic

$$\longrightarrow H[NH—(CH_2)_6—NHCO—(CH_2)_4—CO]_n\,OH + (2n—1)H_2O$$

Nylon 6,6

Se poate observa ușor că pentru această policondensare materialele trebuie să fie prezente în cantități stoechiometrice.

Fibra cunoscută sub numele de Nylon 6 are la bază polimerizarea caprolactamei:



care reacționează în prezența unui adaos catalitic de apă. Se vede că în acest caz grupa acidă și aminică nu se mai află la doi componenți diferiți, ci în unul singur.

Polimerul odată preparat se granulează, se extrage monomerul nereacționat, se usucă și se trece la faza de filare, unde polimerul topit este împins prin găurile unei filiere. Filamentele se solidifică într-un turn de filare (prin care circulă apă rece) și se preiau pe bobine. Urmează etirarea pentru paralelizarea catenelor și, dacă se urmărește obținerea de „fibră", se trece la încrețire (pentru a da un aspect cît mai asemănător cu fibrele naturale și a putea fi prelucrate similar). Fibra este apoi fixată. Fixarea constă în menținerea firului un anumit timp la temperatură ridicată, pentru a permite o relaxare a catenelor întinse prin etirare. Fără fixare, la călcarea țesăturii s-ar produce relaxarea, cu schimbarea dimensiunilor acesteia.

Fibrele poliesterice au la bază tot reacția de policondensare, dar între un diacid (sau diester) și un diol. Reacția decurge în două etape: esterificarea (sau transesterificarea) și policondensarea. Fibra poliesterică produsă în cea mai mare cantitate este polietilentereftalatul. Reacția are loc prin agitare în vid, iar ambele sale etape necesită catalizatori. Polimerul este filat din topitură ca și poliamidele.

Poliuretanii au la bază reacția dintre un compus cu grupe OH și un diizocianat

$$n\,HO—R—OH + n\,OCN—R'—NCO \longrightarrow$$
$$\longrightarrow [O—R—OCONHR'NH—CO]_n$$

unde, de exemplu, $R=(CH_2)_4$, sau un polietilenglicol, poliester etc., iar $R' = (CH_2)_6$ sau alt radical organic. Fibra se obține prin filare din topitură.

Dintre fibrele preparate prin polimerizare radicalică două au o importanță deosebită: fibrele acrilice și fibrele polivinilalcoolice.

Fibrele acrilice se obțin prin polimerizarea acrilonitrilului:

$$n CH_2=CH-CN \longrightarrow \left[\begin{array}{l} CH_2-CH \\ \quad\quad | \\ \quad\quad CN \end{array}\right]_n$$

De fapt, fibrele acrilice au la bază copolimeri ai acrilonitrilului cu acetat de vinil, acrilat de vinil, metil metacrilat etc. Copolimerul este dizolvat într-un solvent potrivit (ca dimetilformamida, dimetil sulfoxid, carbonat de etilenă, soluții de tiocianat) și se filează prin filare umedă sau uscată.

Fibrele polivinilalcoolice se obțin prin polimerizarea acetatului de vinil urmată de hidroliza polimerului cu sodă caustică în mediu de alcool metilic.

$$n CH_3COO-CH=CH_2 \longrightarrow \left[\begin{array}{l} CH_2-CH \\ \quad\quad | \\ OCOCH_3 \end{array}\right]_n$$

$$\left[\begin{array}{l} CH_2-CH- \\ \quad\quad | \\ \quad\quad OCOCH_3 \end{array}\right] + n\,NaOH \longrightarrow \left[\begin{array}{l} CH_2-CH \\ \quad\quad | \\ \quad\quad OH \end{array}\right]_n + n\,CH_3-COONa$$

Polimerul se dizolvă în apă fierbinte și se filează într-o baie de sulfat de sodiu. Urmează tratarea cu formaldehidă, pentru a esterifica o parte din grupele OH. Astfel se conferă polimerului rezistența la apă.

Fibrele obținute prin polimerizare sau copolimerizarea clorurii de vinil ($CH_2=CHCl$) au o importanță mai mică datorită temperaturii joase de topire.

Polimerizarea ionică este utilizată la obținerea fibrelor de polipropilenă și polietilenă. Fibrele de polipropilenă au avut o dezvoltare dinamică în ultimii ani, datorită rezistenței la agenți chimici, precum și datorită greutății specifice foarte mici. Pentru a putea fi utilizată pentru fibre, polipropilena trebuie să fie izotactică, adică să aibă o structură stereoregulată de tipul:

$$-CH(CH_3)-CH_2-CH(CH_3)-CH_2-CH(CH_3)-CH_2-$$

(grupele metil fiind de o singură parte a catenei).

O asemenea structură se obține doar prin polimerizarea ionică. Unul din sistemele catalitice utilizate este catalizatorul Ziegler—Natta, adică $TiCl_3+Al(C_2H_5)_3$. Filarea se face din topitură.

Fibrele sintetice au unele proprietăți superioare celor naturale printre care: rezistență mecanică foarte bună, rezistență chimică excelentă, rezistență la molii și la putrezire. Fibrelor sintetice li se pot conferi proprietăți pe care nu le au cele naturale: neinflamabilitate, rezistență la temperaturi mari etc. Există însă și proprietăți nesatisfăcătoare: absorbție de umiditate scăzută, încărcare electrostatică mare, efect de scămoșare (pilling), colorabilitate mai dificilă.

Eliminarea sau atenuarea tuturor acestor deficiențe fac obiectul celor mai multe din cercetările actuale întreprinse pe plan mondial. Au apărut deja soluții pentru remedierea lor ca: tratament chimic sau termomecanic, adaosuri de modificatori în polimeri, obținerea de copolimeri speciali, amestecarea a mai mulți polimeri, cofilarea etc.

În prezent s-a dezvoltat o ramură de auxiliari pentru industria textilă care produce substanțe capabile să îmbunătățească proprietățile deficitare: antistatizanți, lubrifianți, substanțe pentru mărirea colorabilității etc. Deficiența mare a acestor substanțe constă în aceea că ele se îndepărtează cu timpul din fibră prin spălare. De aceea, soluția cea mai rațională pare a fi aceea de a modifica chimic polimerul, prin copolimerizare, compoundare sau cofilare. Astfel, comonomerii cu grupe polare conferă fibrelor o absorbție de umiditate mărită, reduc încărcarea statică și permit o colorabilitate superioară. Anumiții comonomeri (care conțin în moleculă halogeni sau fosfor) conferă fibrelor excelente proprietăți ignifuge.

În ultima perioadă de timp, foarte utilizată este și cofilarea. Fibrele cofilate au două structuri: „coajă-miez" și „una lîngă alta" („side by side").

Fibrele „coajă-miez" au un miez dintr-un polimer care conferă fibrei rezistență, elasticitate etc., și o coajă din alt polimer pentru scăderea încărcării statice, creșterea luciului, reducerea pillingului etc. Structura „side by side" poate, de exemplu, să confere o încreștire mare fibrei dacă cei doi polimeri au contracții diferite.

În afara cercetărilor în domeniul polimerilor, fibrele sintetice au fost îmbunătățite și prin cercetările în domeniul filării, etirării, prelucrării etc. Astfel, s-au studiat diferite profile de fibre pentru ca la un consum cît mai mic de polimeri să se ajungă la o capacitate cît mai mare de acoperire.

Fibrele sintetice, alături de cele artificiale, sînt astăzi înlocuitori foarte buni ai celor naturale deficitare; în plus, ele asigură și baza de materii prime pentru o serie de industrii în care fibrele naturale nu se pot utiliza.

Iată de ce în țara noastră există o permanentă preocupare pentru obținerea de fibre chimice. Dintre ultimele realizări se pot cita obținerea de fibre artificiale cu modul umed ridicat, de blănuri sintetice din fibre copoliesterice și fibre modacrilice, obținerea de fire tehnice polipropilenice. Prin aceste succese, industria noastră ține pasul cu cele mai noi realizări pe plan mondial într-unul din domeniile în care înlocuirea produselor naturale nu este numai necesară ci și, așa cum s-a văzut, pe deplin posibilă.

Dar chimia modernă nu urmărește numai obținerea de fibre sintetice, ci și îmbunătățirea calităților celor naturale. Acesta este, de exemplu, cazul lînii!

Lîna este, probabil, cea mai veche fibră textilă folosită de om pentru confecționarea îmbrăcămintei. Aceasta se datorează fără îndoială faptului că, în urma evoluției biologice, ea a devenit cel mai eficient material pentru „climatizarea" mamiferelor.

Într-adevăr, țesăturile din fibre de lînă au fost și sînt preferate în primul rînd deoarece sînt izolatori termici excelenți, lîna fiind în mod natural structurată astfel încît să cuprindă un volum mare de aer, iar în cadrul țesăturii fibrele să nu permită vîntului să pătrundă prin ea. Fibrele de lînă rezistă, de asemenea, relativ bine la apă. În sfîrșit, ele sînt capabile să absoarbă cantități mari de apă sub formă de vapori — mai mult de 30 la sută din propria lor greutate — fără ca țesătura să devină umedă.

Aceste calități își au originea în structura chimică și fizică foarte complexă a firului de lînă. El este format din două familii de proteine. Una dintre familii formează lanțuri alfaelicoidale care sînt asamblate în unități micro și macrofibrilare. Ansamblurile acestea sînt învelite într-o manta constituită din proteine neelicoidale. Lanțurile proteice sînt legate strîns în cruce prin intermediul legăturilor sulf-sulf ale aminoacidului cistină. Aceste legături în cruce și structura fibroasă împachetată în mantaua proteică conferă fibrei de lînă posibilitatea de a-și reveni după tensionări. Ca urmare, țesăturile de lînă au o bună rezistență mecanică și o elasticitate ridicată, revenindu-și după deformările cauzate de purtare.

Miezul fibrei de lînă este înconjurat de un strat cuticular care are o structură foarte complicată. El constă din componenți plați, întrepătrunși, asemănători solzilor, aranjați cu capătul liber către rădăcina fibrei, pentru a permite scurgerea picăturilor de apă. Structura solzoasă este însă cauza intrării la apă a țesăturilor din lînă: cînd este spălată în apă, aceasta are tendința de a se împîsli, reducîndu-și ireversibil dimensiunile. Fenomenul se datorează faptului că fibrele migrează într-o singură direcție în țesătură și, fiind împiedicate să revină la loc, se încîlcesc, iar țesătura își reduce dimensiunile.

În ultimii ani, chimiștii au depus eforturi mari pentru a îndepărta acest dezavantaj. Ca urmare, este astăzi posibil să se producă țesături și confecții din lînă ce pot fi spălate la mașină, la fel ca și țesăturile din alte fibre.

Primul procedeu tehnic capabil să confere lînii rezistență la spălarea umedă se baza pe oxidarea fibrei cu ajutorul soluțiilor apoase conținînd clor. Oxidarea reduce structura solzoasă și, în același timp, ea înmoaie materialul proteic de la suprafața fibrei prin oxidarea legăturilor sulf-sulf din cistină la grupări sulfonice. Aceasta permite deformarea mai ușoară a solzilor, astfel că fibrele tind să alunece mai bine unele pe lîngă altele cînd sînt agitate la spălare.

Dar cum clorul reacționează extrem de rapid cu lîna, modificarea structurii chimice este greu de restrîns numai la suprafața fibrei, miezul fiind și el atacat. Deoarece dozarea precisă a clorurării este imposibilă, tratamentul reprezintă, de fapt, un compromis între un anumit grad de rezistență la intrarea la apă și o anumită degradare a fibrei de lînă.

Deși aproape jumătate din țesăturile de lînă rezistente la spălare produse azi în lume sînt obținute prin procedeul oxidativ, acesta are tendința de a fi înlocuit rapid de către tratarea cu polimeri, care are avantajul de a elimina complet degradarea fibrei.

Aplicarea polimerilor se realizează prin două metode. Una prevede pulverizarea unui strat subțire de masă plastică pe fiecare fibră pentru a-i masca solzii și a permite mișcarea liberă, înainte și înapoi, a fibrelor de lînă. Astfel, la spălare, acestea pot reveni în poziția inițială, prevenind împîslirea țesăturii. Pentru a face posibil acest lucru, dat fiind că lîna este hidrofobă, avînd o energie de suprafață de 30 dyni/cm, fibra este supusă mai întîi unei clorurări blînde. După neutralizarea cu bisulfit de sodiu se aplică polimerul care încapsulează fibra. Deși procedeul este laborios, el poate fi efectuat pe mașini specializate, de mare productivitate.

Cel de-al doilea procedeu de tratare cu polimeri are un principiu diametral opus primului. El prevede fixarea fibrelor în țesătură, cu ajutorul unor punți microscopice de masă plastică, unele de altele, pentru a le împiedica să se deplaseze și să se încîlcească. Astfel, deși nu se modifică structura solzoasă a fibrelor, acestea sînt împiedicate să se miște una în raport cu cealaltă. Avantajele sînt multiple: procedeul nu necesită tratarea prealabilă a fibrei, structura și calitățile acesteia fiind menținute intacte, iar tratarea se aplică țesăturii sau chiar confecțiilor finite, prin simpla înmuiere într-o soluție sau emulsie de polimeri. Pînă în prezent au fost testate mai multe tipuri de polimeri pentru această operație. Cei mai indicați sînt cei care conțin grupări ce permit formarea de legături chimice între lanțurile moleculare, constituind, după aplicare, punți de rășină insolubilă, dar moale și elastică, fapt ce elimină pericolul ca stofa să devină rigidă.

Deși deocamdată metoda „fixării" fibrelor nu este atît de larg utilizată ca cea a clorurării și încapsulării în polimeri, în viitor ea își va extinde mult aria de intervenție.

La temperatură și umiditate normale, lîna poate fi aprinsă dacă este supusă unei temperaturi suficient de ridicate. După ce se va aprinde însă, dacă se îndepărtează sursa de căldură, ea va continua să ardă numai un scurt timp, fără a se topi, fapt important pentru preîntîmpinarea arsurilor.

Conform statisticilor, anual, în lume, 3 000 — 5 000 de persoane mor de pe urma arsurilor provocate de aprinderea textilelor inflamabile pe care le poartă. Alte 150 000 — 250 000 se aleg cu arsuri mai mult sau mai puțin grave. Iată de ce în ultima vreme există tendința de a se restrînge folosirea țesăturilor inflamabile la fabricarea confecțiilor pentru copii, a carpetelor, saltelelor, a tapițeriilor din interiorul automobilelor etc., introducîndu-se în folosință textile cu o rezistență sporită la aprindere.

Toți acești factori au stimulat cercetările în direcția măririi rezistenței naturale a lînii la flacără. În anii '70 a fost brevetat primul procedeu bazat pe tratarea lînii cu complecși încărcați negativ de zirconiu sau titan, în mediu acid. Într-adevăr, la un *p*H scăzut, lîna se încarcă pozitiv, astfel încît ea atrage complecșii metalici din baia acidă și-i absoarbe. În afara acestui procedeu uzual există în prezent și alte metode de aplicare a compușilor de zirconiu și titan care nu au încă o aplicație industrială largă. Compușii de titan sînt mai ieftini decît cei de zirconiu, dar au dezavantajul că dau lînii o colorație galbenă.

Astăzi, în întreaga lume, aproximativ 4—5 milioane kg de lînă sînt tratate anual pentru a fi ignifugate. Tratamentul este ieftin și simplu de aplicat, iar lîna tratată își păstrează intacte calitățile ei excelente de fibră textilă. Elaborarea acestor metode a făcut ca lîna să devină extrem de competitivă, în special pentru confecționarea îmbrăcămintei de protecție. Lîna rezistentă la flacără este mult mai greu inflamabilă decît bumbacul ignifugat, la un preț de cost foarte apropiat deoarece ignifugarea bumbacului este extrem de costisitoare. Pe de altă parte, fibrele sintetice aromatice termorezistente sînt mult mai scumpe decît lîna și nu au nici pe departe calitățile acesteia.

Lîna tratată poate fi spălată sau curățată prin procedeul uscat, fără a-și pierde rezistența la flacără, și depășește chiar cele mai exigente standarde referitoare la rezistența textilelor la solicitări termice.

Cazul tratării unor fibre naturale, cum este, de exemplu, bumbacul, este similar. În acest fel, chimia conferă — prin intermediul îmbunătățirii calităților și performanțelor pe care le prezintă produsele naturale, prin conferirea unor proprietăți noi acestora — o nouă tinerețe acestor materiale străvechi.

5. Biomaterialele

Cea mai neobișnuită aventură a materialelor sintetice o înregistrăm totuși în neașteptatul domeniu al viului.

În ultimele decenii, depășind pragul ce separă lumea nevie de cea biologică, materialele produse de oameni au început să înlocuiască țesuturile vii ale organismelor.

Obiectivul este departe de a fi simplu. Biomaterialele trebuie să îndeplinească multiple condiții. Ele trebuie să fie, în același timp, solide și rezistente, inerte din punct de vedere chimic și, mai ales, biocompatibile. În special acest din urmă punct constituie „piatra unghiulară" a oricărui candidat la titlul de înlocuitor de țesut. Într-adevăr, nimic nu este mai dificil de obținut decît conferirea, unui material oarecare, a proprietății unice de a nu fi considerat „intrus" în cazul în care acesta este implantat într-un organism viu, de a nu fi „atacat" și respins de către sistemul imunologic al respectivei gazde. Mai mult, prezența acestuia, chiar dacă ar fi tolerată, nu trebuie să stînjenească în nici un fel complexele procese biologice ce se desfășoară în țesuturile aflate în contact nemijlocit cu el.

Începuturile au fost relativ modeste. Primii înlocuitori și-au găsit aplicații, sub forma metalelor și aliajelor metalice nobile și inoxidabile, în protezarea oaselor și a dinților. Au urmat apoi protezele de... vase sanguine. În această direcție, mai ales pentru „conducte" circulatorii cu diametre mari, de peste 5 mm, de genul aortei, a vaselor coronariene sau a venelor și arterelor principale, materialul polimer denumit „Dacron" a permis asigurarea unei circulații normale a sîngelui prin noile traiecte artificiale.

Sub limita menționată lucrurile devin însă, din păcate, mult mai complicate. Aici, datorită vitezei mult mai mici de circulație a sîngelui, proteinele sale suferă modificări în contact cu pereții vaselor artificiale. Se produc coagulări, apar chiaguri, fapte ce periclitează sistemul circulator. Ce s-ar putea face în asemenea situații? Cea mai logică soluție ar fi acoperirea interiorului arterelor și venelor artificiale cu un strat de substanțe capabile să împiedice coagularea. Organismul însuși prepară asemenea substanțe, cea mai eficace fiind heparina. De aici ideea de a grefa pe macromoleculele polimerilor din care se confecționează substitutul de vase sanguine molecule de heparină. Dar ea însăși poate fi înlocuită de molecule sau grupări cu acțiune similară, obținute prin tratare chimică, cum ar fi, spre exemplu, clorosulfonarea polistirenului. În acest fel s-au obținut deja, e drept numai în laborator deocamdată,

vase arteriale sau venoase de mici dimensiuni ce nu mai prezintă pericolul inducerii de tromboze. În perspectivă, se poate imagina posibilitatea fabricării unor rețele circulatorii protejate chimic împotriva... depunerii colesterolului.

Nici protezele ortopedice nu au rămas multă vreme la stadiul... metalic. Mai ales dacă ținem seama de faptul că aliajele metalice provoacă apariția friabilității țesutului osos și impun, după un anumit interval de timp, înlocuirea lor. Iată motivele pentru care materialele din fibre de carbon — mult mai ușoare, mai elastice, mai rezistente — au început să înlocuiască... înlocuitorii inițiali din metal. Cu deosebire în cazul articulațiilor mobile, de genul genunchiului, șoldului sau cotului, ele își dovedesc neta și indiscutabila lor superioritate. Astfel, pentru un singur kilometru de mers pe jos, proteza șoldului execută nu mai puțin de 3 000 de rotații în articulația sa. Or, deocamdată, nici un alt material nu este atît de rezistent la uzură și deformare cum sînt compozitele din fibre de carbon.

Dar nici acestea nu sînt materialele ideale pentru înlocuirea oaselor. Ceea ce ar fi de dorit sînt materiale care să preia, pentru un anumit timp, funcția de susținere mecanică a osului, permițînd în același timp refacerea acestuia. Apoi, odată rolul de substitut temporar încheiat, înlocuitorul de os ar trebui să se resoarbă în organism lăsînd locul noului țesut de susținere format între timp. Sînt acestea condiții de neîndeplinit? Nicidecum, afirmă specialiștii. Astfel, un os artificial biodegradabil a putut fi preparat cu ajutorul unor polimeri pe bază de acid lactic și acid glicolic, două substanțe ce se găsesc în mod obișnuit, în corpul uman. El se resoarbe fără urme după cîteva săptămîni sau luni de la implantare, lăsînd în urma sa țesutul osos regenerat.

În stomatologie, un dinte compromis nu mai putea fi înlocuit decît printr-o proteză. Fie că aceasta era o punte, o placă sau un dinte fixat pe pivot metalic, rămînea un material străin, care mai devreme sau mai tîrziu va ceda în fața solicitărilor mecanice foarte mari ale masticației. În plus, infecțiile datorate pătrunderii microorganismelor din cavitatea bucală pînă la „rădăcina" protezei dentare erau destul de frecvente.

Această metodă de tratament, anunță revista „Der Spiegel", va fi în curînd înlocuită printr-un procedeu cu totul revoluționar, care are la bază obținerea unui material ceramic nou — un amestec de fosfat de calciu și o masă plastică suportată de țesuturile vii — din care se confecționează rădăcina dintelui artificial ce urmează să-l înlocuiască pe cel extras. Noul material este macroporos — o parte din fosfatul de calciu din compoziția sa este dizolvat și resorbit de țesutul osos —, fapt care permite formarea unor goluri în rădăcină. Aici pătrunde țesutul osos al maxilarului, astfel că după 8—10 săptămîni de la implantare rădăcina este perfect asimilată și fixată solidar de acesta. În acest moment se poate trece la fixarea de miezul metalic al rădăcinii a noului dinte necariabil din material plastic.

Metoda aceasta a fost experimentată pînă în prezent cu succes la o clinică de specialitate din Frankfurt, R.F.G., pe numeroase animale rozătoare, șobolani și iepuri, iar apoi pe un lot de aproximativ 200 de cîini, a căror masticație este mult mai apropiată de cea umană. În curînd, ne asigură autorii noului tratament, acesta va putea fi introdus și în cabinetele stomatologice umane, rezolvînd definitiv, se pare, una dintre cele mai dificile afecțiuni ale omului contemporan.

Încercările chimiștilor de a sprijini producția de „piese de schimb" artificiale pentru organismul uman nu s-au limitat însă numai la sistemul circulator și cel osos. Dacă se pot realiza vase sanguine sintetice, de ce nu ar fi posibilă și producerea de sînge artificial? Dar pentru ce ar fi necesar un asemenea efort de cercetare științifică cînd transfuziile sanguine au devenit de mai multe decenii singura formă uzuală de transplant? Răspunsul este simplu. În practica medicală există o adevărată „criză a sîngelui". Cu alte cuvinte, există prea puțini donatori, durata de conservare a sîngelui recoltat este de numai circa trei săptămîni, există pericolul transmiterii prin transfuzii a numeroase boli infecțioase, de la hepatita virală la SIDA etc. Cît de binevenit ar fi un lichid artificial accesibil în cantități mari și la prețuri ieftine pentru a prelua o parte din deficitul tot mai însemnat de țesut circulator este ușor deci de înțeles. În plus, el ar putea servi la perfuziile necesare „spălării" sistemului arterial și venos, debarasării

organismului de toxinele acumulate sau introduse accidental și, de ce nu, la irigarea organelor prelevate în vederea transplantării.

Deocamdată, ambiția oamenilor de știință se limitează la reproducerea, dintre multiple funcții ale sîngelui natural, doar a proprietății de a vehicula spre țesuturi oxigenul necesar proceselor biologice. O primă încercare a constituit-o utilizarea unor soluții de hemoglobină extrasă din sîngele expirat. Deși ea își păstrează și în această formă capacitatea de transport a oxigenului, persistența sa în fluxul sanguin este redusă atunci cînd nu se găsește incapsulată în globulele roșii. Introducerea hemoglobinei în microambalaje sferice semipermeabile confecționate din stearați, polistiren sau nailon contribuie la creșterea eficienței procedeului, dar are și numeroase deficiențe. Astfel, „globulele" artificiale nu sînt la fel de suple ca cele naturale și deci nu pătrund în vasele mai subțiri pe care le și blochează de multe ori. În plus, ele sînt fagocitate, adică atacate și distruse de către sistemul imunologic. În sfîrșit, acumularea de materiale sintetice bionedegradabile în ficat, splină sau măduva osoasă ridică grave probleme de metabolism.

În prezent căutările specialiștilor vizează sintetizarea unor substanțe de genul hemoglobinei sau cu o structură complet diferită de aceasta, dar care să fie capabile să oxigeneze celulele organismului viu. S-au obținut astfel complecși ai fierului și cobaltului cu lanțuri de peste 140 de aminoacizi asamblați într-o structură asemănătoare celei a hemoglobinei. Din păcate, în ciuda eficienței lor, ei rămîn deocamdată foarte costisitori.

Soluția care pare să aibă cele mai mari șanse de a se impune o constituie însă emulsiile de fluorocarboni. Aceste substanțe sînt perfect asemănătoare hidrocarburilor, cu diferența că locul atomilor de hidrogen a fost luat, parțial sau în totalitate, de către cei de fluor. Ele au avantajul de a fi chiar mai eficiente decît hemoglobina. Astfel, 100 de volume de emulsie fluorocarbonică dizolvă la 37°C și presiunea de 1 atm. 40—50 volume de oxigen, în timp ce sîngele nu preia decît 20 volume, iar plasma numai 2,4. Rezultatele utilizării — deocamdată numai pe animale de laborator — a noului substitut de sînge au fost extrem de spectaculoase. După înlocuirea a numai 30—40% din vo-

lumul total de sînge cu emulsii fluorocarbonice, s-a trecut la „umplerea" circuitului sanguin în exclusivitate cu sînge artificial. Oricît ar părea de surprinzător, animalele supuse acestui tratament nu numai că au supraviețuit, dar s-au comportat normal în continuare. După un anumit timp, organismul a înlocuit treptat sîngele artificial cu globule roșii obișnuite, neînregistrîndu-se nici o perturbare a proceselor metabolice.

Desigur, deocamdată nu se pune încă problema transfuziilor de sînge artificial fluorocarbonic la om. Unei asemenea măsuri radicale i se opun numeroase impedimente: fluorocarbonii nu sînt chiar atît de ușor de obținut în stare foarte pură și cu o anumită compoziție aleasă, emulsiile nu sînt însă prea stabile, iar felul în care organismul suportă stocarea îndelungată în ficat sau măduva osoasă a derivaților fluorocarbonici nu este suficient cunoscut. Totuși, s-a demonstrat cu prisosință încă de pe acum faptul că sîngele uman poate fi și el... protezat cu succes.

La fel de pline de promisiuni sînt și eforturile de a crea piele artificială în vederea transplantării. Desigur, cea mai bună metodă de „acoperire" a porțiunilor deteriorate ale epidermei o constituie autografa. Ea constă în transplantul de piele proprie, recoltată din alte părți ale corpului. Avantajul major al procedeului se traduce prin lipsa totală a respingerii grefei. Dar o asemenea metodă este inoperantă atunci cînd suprafața lezată are o întindere prea mare, așa cum este cazul arsurilor grave. Tentativele de a folosi în asemenea situații „pansamente" din piele de porc liofilizată și congelată sau din piele prelevată de la cadavre proaspete au eșuat tocmai datorită intervenției sistemului imunologic al organismului-gazdă care a respins noul „înveliș" ca pe un corp străin.

Mult mai avantajoasă s-a dovedit a fi recurgerea la membrane artificiale. Astfel, la Massachussetts General Hospital din Boston a fost pus la punct un substitut de piele format dintr-un strat inferior ce conținea colagen și zaharuri și unul superior, constituit din elastomer siliconic. Aplicat pe plăgi, el permitea refacerea pielii proprii într-un interval de circa 30 de zile. Porțiunea organică era resorbită fără nici un impediment de organism, în timp ce folia de polimer era îndepărtată fără dificultăți după formarea țesutului dermal.

Membrana realizată de echipa de specialiști amintită permite însă și utilizarea unei alte tehnici, mult mai avantajoase încă. Este vorba despre „tapetarea" foliei de elastomer cu o cultură de celule dermale prelevate de la accidentatul însuși. Acestea, după un timp de înmulțire de aproximativ 5 zile *in vitro*, sînt însămînțate pe suportul artificial și aplicate pe plagă. Procesul de refacere a pielii nu se mai desfășoară în acest caz de la margini către centru, ci pe toată suprafața afectată. Ca urmare, vindecarea durează aproape de două ori mai puțin, iar pielea nou formată este perfect uniformă.

În perspectivă se preconizează, în domeniul înlocuitorilor de piele, două direcții principale. Este vorba, în primul rînd, de confecționarea de tegumente echivalente cu cele umane, dar complet sintetice. Ele ar constitui, de fapt, un fel de pansament sub care ar decurge refacerea pielii proprii. Materialul cel mai indicat pare să fie colagenul care, datorită structurii sale proteice, este suportat bine de organism, sau un polipeptid artificial similar. Cea de a doua direcție are în vedere refacerea rapidă *in vitro* a unor porțiuni mai mari de piele prin cultura de celule și aplicarea acestora pe suprafețele lezate. Datele științifice preliminare arată că pornind de la o prelevare de numai 1 cm^2 de piele proprie se poate obține destul de repede, prin cultura de celule o suprafață dermică suficientă pentru a acoperi întregul corp uman.

Cultura de celule promite să ofere însă și cheia rezolvării problemei înlocuirii organelor sau țesuturilor iremediabil compromise. În ciuda optimismului inițial, transplantul de organe nu a reușit încă să se impună decît în prea puține domenii. Cauza? Respingerea rapidă de către organism a grefei străine. Or, prin creșterea în condiții artificiale a cîtorva celule prelevate din organul propriu se poate obține rapid un înlocuitor al acestuia, sănătos și capabil de a-și exercita funcțiile caracteristice, și care va fi recunoscut drept compatibil de către organism după implantare. Exemple în acest sens sînt grefele de vase sanguine vii, obținute în prealabil *in vitro* pornind de la culturi de celule, sau cele de glande tiroide „fabricate" prin același procedeu. Locul acestei spectaculoase dar încă incipiente realizări este laboratorul de biologie de la Massachussetts Institute of Tehnology.

La fel de interesantă este și perspectiva punerii la punct a pancreasului bioartificial. Într-adevăr, dacă injecțiile zilnice cu insulină permit supraviețuirea a milioane de diabetici, ele sînt departe de a fi o soluție satisfăcătoare. Nu este vorba aici numai despre inconvenientele și incomodităţile unei asemenea terapii, ci despre faptul că administrarea înaintea fiecărei mese a unei anumite cantități de hormon reproduce mai mult decît aproximativ acțiunea pancreasului care eliberează în mod continuu cantități de insulină proporționale cu nivelul concentrației de glucoză din sînge. Iată de ce crearea unui pancreas artificial ar fi extrem de salutară pentru numeroși bolnavi.

Or, momentul apariției unui asemenea organ nu este prea îndepărtat. Cercetări recente au stabilit condițiile în care celulele pancreatice endocrine, ce măsoară concentrația de glucoză și secretă cantitățile de insulină corespunzătoare, pot fi cultivate *in vitro*. Ceea ce se caută în prezent este o membrană semipermeabilă artificială adecvată capabilă să separe celulele pancreatice străine de cele imunitare proprii, permițînd în același timp circulația liberă a glucozei și a insulinei. Materialele avute în vedere sînt alginatul — o țesătură de fibre textile avînd la bază alge marine — sau un material plastic inert, biocompatibil.

Capitolul III

SITUAȚII CHIMICE PENTRU CRIZA ENERGIEI

Despre problema energiei s-a scris și s-a vorbit în ultimii ani enorm. Este firesc să fie așa dată fiind, pe de o parte, importanța ei deosebită pentru civilizația umană. Astfel, numeroși specialiști consideră pe bună dreptate că, din punct de vedere strict tehnologic, gradul de dezvoltare al unei civilizații este exprimat de cantitatea de energie pe care este capabilă să o producă și să o folosească aceasta. Pe de altă parte, s-a făcut constatarea că este imposibilă menținerea în continuare a producției de energie la cote mereu ascendente, așa cum o impun cerințele progresului tehnico-economic, aproape exclusiv pe seama exploatării combustibililor fosili, cu deosebire a petrolului. Într-adevăr, astăzi nimeni nu mai contestă faptul că actuala criză mondială a energiei are la bază neglijarea, timp de decenii, a multora dintre celelalte posibilități de producție a acesteia tocmai din cauza abundenței, la un moment dat, a „aurului negru" pe piața mondială la prețuri derizorii. Cînd supraoferta a dispărut, cînd prețurile au crescut vertiginos, omenirea a constatat că este imposibil să-și construiască prezentul și viitorul pe seama unei singure resurse naturale, limitate, epuizabile, oricîte avantaje ar prezenta ea în comparație cu altele. Dar, o asemenea experiență dureroasă conține, chiar dacă aceasta pare la prima vedere paradoxal, și un aspect pozitiv. În prezent, cvasitotalitatea specialiștilor admit faptul că țițeiul nu mai poate fi pur și simplu ars în termocentrale pentru a mai asigura, pentru numai cîteva decenii, zestrea energetică a Terrei.

Cu ce va fi el însă înlocuit în producția primară de energie și, la fel de important, în transporturile mileniului III? Cum va interveni chimia în procesul dificil dar de importanță vitală al depășirii definitive a crizei energetice?

1. „Dosarul combustibililor fosili" sau perspectivele energiei chimice

Consumul de energie pe Terra a înregistrat o evoluție extrem de dinamică: de la aproximativ 2 000 calorii zilnic, cît folosea omul primitiv exclusiv sub formă de hrană, pînă la 230 000 kilocalorii pe zi, cît se consumă astăzi, sub multiple forme, într-una din țările industrializate. Multă vreme, principala formă de energie utilizată de om, alături de cea obținută prin arderea celulozei din combustibilul natural care este lemnul, a fost cea musculară — proprie sau a animalelor domestice. Pe parcursul perfecționării uneltelor și tehnologiilor, acesteia i s-au adăugat energiile unor factori naturali ca vîntul sau cursurile de apă, dar într-o măsură atît de mică încît, la începutul secolului al XIX-lea ponderea energiei musculare în activitățile productive era încă de 95%. Abia apariția și apoi extinderea largă a mașinilor — de la cele cu abur la cele cu explozie și electrice — a făcut posibilă creșterea inimaginabilă a productivității muncii, factorul esențial al progresului uman din ultima perioadă. Dar energia ce pune în funcție aceste mașini este și astăzi produsă, în cea mai mare parte pe cale chimică, adică prin arderea combustibililor fosili: cărbunele, petrolul, gazele naturale. „Materia primă" din care s-au format ei — masa vegetală și animală — este rezultatul proceselor biologice, de neconceput în absența căldurii și luminii solare. Ceea ce restituie astăzi la ardere, adică la combinarea cu oxigenul atmosferic, combustibilii fosili este o parte a energiei radiante a Soarelui acumulată în organismele originare în cursul unei vieți scurte și a unor transformări chimice de milioane de ani a rămășițelor acestora.

Care este rolul lor în energetica de astăzi și de mîine?

• *Prezentul și viitorul petrolului.* Datorită exploatării accelerate a resurselor cunoscute, a faptului că nu s-au descoperit alte zăcăminte de țiței capabile să asigure reînnoirea rezervelor în același ritm cu exploatarea lor, precum și datorită inechității repartiției consumurilor pe plan internațional, petrolul devine, în zilele noastre, o materie primă tot mai greu de procurat. După a creștere continuă a producției și consumului mondial de țiței, acestea s-au stabilizat în jurul cifrei de 3 miliarde tone anual.

Totuși, printre argumentele specialiștilor care susțin posibilitatea atenuării efectelor actualei crize a petrolului se numără și unul cu o valoare deosebită: în ultimii ani s-au făcut prea puține prospecțiuni pentru identificarea unor noi zăcăminte de hidrocarburi fosile. Căci, susțin în continuare aceiași autori, Pămîntul dispune încă de numeroase rezerve de țiței. Ele trebuiesc numai căutate. Unde? În primul rînd la adîncimi mai mari ale subsolului.

Din cîte se știe astăzi, distribuția pe verticală a zăcămintelor de petrol și gaze este controlată de temperatură și presiune. Potrivit unor calcule teoretice, parțial verificate de activitatea practică, acumulările de hidrocarburi lichide ar fi limitate, în funcție de gradienții de temperatură și presiune, între 4 000 și 8 000 m, iar cele gazoase între 7 000 și 16 000 m. În această privință se cuvine să fie arătat că în S.U.A., unde în ultimele decenii s-au săpat un număr de peste 5 500 de sonde mai adînci de 4 500 m, acumulări de petrol s-au întîlnit pînă la 7 680 m, iar zăcăminte de gaze pînă la 7 482 m. Determinat de epuizarea resurselor localizate în formațiuni geologice cu adîncimi mici și medii, forajul profund a început să se practice în cel puțin 43 de țări, din care în 8 — S.U.A., U.R.S.S., România, Italia, Austria, R.D.G., R.F.G., și Franța — s-au depășit 6 000 m. Recordul de adîncime pe glob îl deține sonda 1-Rogers, cu 9 600 m, urmată de sonda 1-Baden, cu 9 159,24 m, ambele din S.U.A. Accesul la aceste rezerve de mare profunzime nu poate fi însă realizat decît prin perfecționarea continuă a tehnologiilor de foraj. Marilor realizări obținute deja în această direcție li se adaugă, în perspectiva anilor viitori, posibilitatea forajului petrolier cu ajutorul laserului, metodă ce permite să revoluționeze această tehnică mai mult decît centenară.

O mare speranță pentru industria petrolieră o constituie și rezervele de țiței ale „continentului albastru". Estimările făcute de specialiști cu privire la evoluția ponderii petrolului submarin în producția mondială de țiței arată că dacă în anul 1976 acesta constituia numai 20 la sută, spre sfîrșitul acestui deceniu, el va deține 33 la sută, iar la începutul secolului următor va ajunge la 50 la sută din producția de „aur negru" a Terrei.

Dintr-o analiză recentă, reieșea faptul că atît suprafețele, cît și resursele petroliere pe care le oferă „offshore"-

ul sînt mult mai importante decît cele continentale. Astfel, luîndu-se în considerare bazinele sedimentare groase de peste 1 000 m în care s-ar putea afla acumulări de țiței, continentele dețin azi o suprafață totală de aproximativ 65 milioane km², cu rezerve sigure de numai 20 miliarde tone, iar platformele continentale marine dețin 90 milioane km² în ape cu adîncimea de peste 200 m și 15 milioane km² în ape cu adîncimea de pînă la 200 m, ale căror rezerve sigure se ridică la cel puțin 30 miliarde tone. Cît privește rezervele posibile, pentru continente nu se dă nici o cifră, iar pentru zonele marine se estimează alte 68 miliarde tone. Iată de ce, în prezent, la forajul marin pe platformele continentale lucrează un număr de aproape 80 de țări, explorările și exploatările de petrol făcîndu-se practic de-a lungul coastelor tuturor continentelor.

Așadar, în actuala conjunctură economică se estimează că cercetările geologice trebuiesc îndreptate cu perseverență mai ales în direcția identificării de noi zone petrolifere. Tocmai pentru a orienta aceste cercetări a fost elaborată și o nouă teorie cu privire la modul în care au apărut, în diferite zone geografice ale Pămîntului, zăcămintele de combustibili fosili.

Într-adevăr, date științifice recente au arătat că marile zăcăminte petrolifere s-au format în perioadele de creștere a nivelului apelor oceanului planetar. Cel mai elocvent exemplu este petrolul saharian, provenit din depunerile de plancton ce au avut loc în urmă cu aproximativ 400 milioane de ani, pe vremea cînd actualul pustiu african fusese transformat într-un golf aproape închis, cu ape liniștite, puțin adînci. Tot în epoci de invadare a uscatului de ape s-au format zăcămintele continentale de petrol din Canada, S.U.A. (Texas, Munții Stîncoși, California), din U.R.S.S. (Urali, Siberia) etc. Unele zăcăminte, deși au ca punct de pornire tot creșterea nivelului apelor, au continuat să rămînă în apropierea coastelor. Acesta este cazul „pungilor" de petrol din imensa lagună caldă care a fost cîndva Marea Nordului sau a celor din Orientul Mijlociu și Golful Persic. În sfîrșit, zone lagunare au luat naștere și prin deriva continentelor. Cînd vechiul continent Gondwana s-a scindat, între „bucățile" rupte din el s-au format brațe de mare. Între Africa și America de Sud, de exemplu, distanțele au fost în urmă cu 100—110 milioane

de ani destul de scăzute. Circulația curenților marini era practic nulă, astfel încît între cele două viitoare continente apa de fund a căpătat în scurt timp un caracter reducător, oxigenul fiind practic epuizat. Depunerile mari de plancton au condus la formarea unor zăcăminte importante de țiței. Ele s-au deplasat o dată cu continentele fiind astăzi dispuse în subsolul platformelor continentale: în dreptul coastelor Braziliei și ale Argentinei în America de Sud și în largul țărmurilor angoleze în Africa. Cunoașterea acestei evoluții în cadrul căreia, pe o suprafață de circa 15 milioane de km² s-au acumulat aproximativ 80% din rezervele de petrol cunoscute astăzi, precum și studierea datelor paleogeografiei permit depistarea pe baze științifice a zonelor încă neexplorate ale Terrei unde există șanse de a fi descoperite noi zăcăminte de hidrocarburi fosile.

Cele mai mari speranțe și le pun însă specialiștii în creșterea factorului de recuperare a țițeiului din zăcămînt. Într-adevăr, recuperarea primară, care nu utilizează decît energia proprie a „pungii" de petrol, reprezintă și astăzi procedeul predominant utilizat în practica extractivă. În cele mai multe cazuri, el nu permite decît exploatarea a cel mult 20% din conținutul de țiței acumulat în zăcămînt. Pentru a spori cantitatea de țiței extras se poate recurge la injectarea sub presiune a unui fluid ieftin care să înlocuiască petrolul din zăcămînt. Acesta ar putea fi apa, simplă, sub formă de soluție ce conține polimeri de îngreunare și detergenți sau în stare de vapori, gazele de sondă (care continuă să fie arse în unele zone mai izolate ale globului și astăzi) sau dioxidul de carbon. Această metodă, care permite ridicarea cu cîteva procente a cantității de țiței recuperat, cunoscută principial de mai multă vreme și aplicată în unele cazuri este pe punctul de a căpăta o răspîndire ceva mai largă în tot mai multe exploatări din diferite țări ale lumii. Există însă și situații în care metodele prezentate sînt inoperante. Acesta este, de exemplu, cazul zăcămintelor de țițeiuri grele, în care hidrocarburile superioare, cu o vîscozitate mai ridicată, constituie majoritatea zăcămîntului sau cazurile cînd fracțiile ușoare au fost deja extrase. În asemenea situații se recurge la ceea ce specialiștii au denumit, „combustia subterană". Metoda constă în aprinderea și arderea unei mici părți din țițeiul aflat în zăcămînt, căldura degajată fluidificînd frac-

țiile grele, iar gazul rezultat împingînd la suprafață petrolul.

Ce ar însemna aplicarea pe scară largă a tuturor acestor procedee este ușor de înțeles. Factorul de recuperare a țițeiului din zăcăminte ar crește într-o manieră spectaculoasă. De la 20—25% s-ar putea ajunge la 30%, în perspectivă chiar la 45%. Limita pe care o întrevăd specialiștii nu ar fi însă nici pe departe atinsă. Conform aprecierilor lor, perfecționarea metodelor de recuperare ar putea duce la extragerea a 60% din țițeiul cuprins în zăcămînt, ceea ce ar însemna dublarea sau chiar triplarea, în următorii ani, a rezervelor de petrol de care poate dispune imediat omenirea.

• *Redescoperirea cărbunelui.* Creșterea vertiginoasă a prețului petrolului a readus în discuție perspectivele unui combustibil care a deținut pînă mult după începutul acestui secol supremația energetică pe Terra: cărbunele. Lucru cît se poate de firesc, susțin numeroși specialiști, de vreme ce cărbunele a asigurat prima revoluție tehnico-științifică mondială inaugurată cu descoperirea, în secolul al XVIII-lea de către J. Watt, a motorului cu abur.

Combustibil fosil, cărbunele a luat și el naștere, asemenea petrolului, în cursul unui îndelungat proces de reducere a materialului biologic acumulat în sol. În cazul său însă „materia primă" a constituit-o biomasa vegetală rezultată în pădurile și mlaștinile tropicale ce acopereau odinioară mari suprafețe ale Pămîntului. Scufundate sub straturi de nămol și pămînt, care le-au izolat de oxigenul atmosferei, giganticele trunchiuri de acum zeci și sute de milioane de ani au suferit un lent proces de reducere. El nu a condus însă la formarea cu preponderență a hidrocarburilor, ci s-a desfășurat pînă la formarea de carbon, mai mult sau mai puțin impurificat cu alte substanțe.

Cărbunele ar avea deci avantajul că nu este o materie primă nouă, necunoscută. Mai mult, marile bazine carbonifere ale lumii sînt, în linii mari, cunoscute. Exploatarea lor nu a încetat niciodată, ci, cel mult, a fost doar încetinită în timpul folosirii intensive a petrolului. Astăzi însă ritmul de exploatare a resurselor carbonifere se intensifică tot mai mult. La fel și explorările pentru identificarea de noi rezerve din prețiosul combustibil. Rezultatele obținute îndreptățesc optimismul cu care unii specialiști

prezic un viitor strălucit cărbunelui. Căci, într-adevăr, planeta Pămînt dispune de rezerve importante de cărbuni. Conform datelor publicate recent, rezervele de cărbune ce se exploatează în prezent se cifrează la 590 miliarde tone. Cele exploatabile la actualul nivel economic și tehnologic — zăcăminte cu straturi mai groase de 35 cm, aflate la adîncimi de pînă la 1 200 m — s-ar ridica la 1 400 miliarde de tone. Dacă s-ar recurge însă la metode mai sofisticate de explorare, au declarat numeroși experți, s-ar putea identifica în subsolul terestru pînă la 11 000 miliarde tone de cărbune, din care cel puțin jumătate s-ar preta exploatării. Pe baza acestor date — cele mai realiste dintre estimările făcute pînă în prezent — s-a calculat că vechiul și binecunoscutul cărbune ar putea asigura supraviețuirea energetică a civilizației noastre pentru o perioadă cuprinsă între minimum 400 și maximum 1 600 de ani.

Tocmai datorită atractivității pe care o prezintă „alternativa cărbune" în contextul actualei crize energetice mondiale, s-a trecut, în numeroase țări ale lumii, la elaborarea și punerea în aplicare a unor vaste planuri de readucere a cărbunelui în circuitul economic. În S.U.A. de exemplu, există prescripții legale care favorizează pătrunderea cărbunelui în alimentarea termocentralelor electrice. Pentru anul 2000 se așteaptă atingerea unui consum energetic de cărbune de 1,5—2 miliarde tone de cărbune pentru obținerea a circa 5 000 terrawațiore din cele 8 000—9 000 Twh (T=terra=10^{12}). La rîndul lor, țări ca Polonia, Canada, Republica Sudafricană, Australia și-au propus dublarea volumului producției lor de cărbune în următorii 10 ani și triplarea ei la sfîrșitul acestui secol. Programe ce cuprind creșteri importante la acest capitol au elaborat și Marea Britanie, R. F. Germania, Olanda, Franța etc. În țara noastră nu numai că s-a interzis construcția de noi termocentrale pe bază de hidrocarburi și s-a prevăzut trecerea celor existente, eșalonat, pe combustibili solizi, ci s-a elaborat un vast program de folosire intensivă și valorificare superioară a zăcămintelor de cărbuni de care dispunem.

Că alături de atomocentrale, termocentralele pe bază de cărbuni vor fi printre cei mai importanți furnizori de energie electrică ai anilor 2000 este un adevăr acceptat

în unanimitate de oamenii de știință. Tot atît de unanimă este însă și constatarea că, în stadiul lor actual, tehnologiile de ardere a cărbunilor prezintă încă numeroase aspecte nevralgice. Cîteva cifre sînt edificatoare în acest sens. Astfel, o termocentrală electrică de 1 000 MW eliberează în 24 de ore, prin arderea cărbunilor, nu numai 20 000 tone de dioxid de carbon și cîteva mii de tone de vapori de apă — substanțe relativ nepoluante — dar și aproximativ 30 tone dioxid de sulf, cel puțin 70 tone de oxizi de azot, circa 40 tone acid clorhidric, precum și cantități de ordinul zecilor de tone de cenuși și funingine. Într-o lume hipersensibilizată față de problema combaterii poluării, a protecției mediului înconjurător, asemenea date stîrnesc o vie îngrijorare. Astfel, specialiștii au calculat că, din punct de vedere al poluării cu oxizi de azot, o termocentrală de 1 000 MW echivalează cu 200 000 de automobile. Dioxidul de sulf eliberat în atmosferă de același furnizor de energie poate duce la apariția de boli ale aparatului respirator la mii de persoane. Va fi obligat deci omul să renunțe la atît de atrăgătoarea soluție care este cărbunele? Nicidecum, afirmă numeroși specialiști. Pentru această reală și nevralgică problemă există soluții tehnologice deja cunoscute. Să le examinăm pe rînd.

Cel mai periculos component al fumului de termocentrală este dioxidul de sulf. Din punct de vedere teoretic, el poate fi eliminat prin intervenția la trei nivele: desulfurarea cărbunelui înainte de ardere, fixarea dioxidului de sulf prin adăugarea de calcar în cuptor, în timpul arderii, sau purificarea gazelor de ardere. În practica industrială, numai ultima soluție este deocamdată mai larg folosită. În viitor însă, în ciuda dificultăților tehnice pe care le implică, recuperarea sulfului s-ar putea dovedi nu numai serios simplificată, ci și profitabilă din punct de vedere economic, deoarece industria sulfului și a derivaților săi este astăzi în plină expansiune. O rezolvare mai avantajoasă a problemei o reprezintă, se pare, modificarea radicală a tehnicii de ardere a cărbunelui. În locul brichetelor sau a bucăților de rocă dislocată ce se plasează pe grătarele arzătoarelor din termocentrale se poate recurge la așa-numita „combustie în pat fluidizat". Cu ajutorul acestei metode pot fi valorificate oricare dintre varietățile de cărbune de care dispune beneficiarul. Și aceasta

cu un foarte bun control al poluării, mai ales în ceea ce privește periculoșii oxizi de azot și de sulf. Faptul este de o importanță deosebită, mai ales dacă este privit prin prisma necesității aducerii în circuitul economic a cărbunilor inferiori și a celor cu conținut ridicat de sulf.

Cum se realizează însă această combustie? În cazul unui arzător cu „pat fluidizat", aerul este insuflat sub presiune, în mare exces, pe la partea inferioară a acestuia. Combustibilul — cărbunele măcinat fin — este injectat în arzător unde se mai află un component inert — de exemplu nisipul. Granulele inerte sînt prezente într-o proporție mult mai mare față de cele de cărbune: raportul lor este cam de 200 la 1. Aerul care circulă de jos în sus prin arzător menține amestecul, printr-o agitație continuă, în suspensie, obligîndu-l în acest fel să se comporte ca un fluid. Totodată, excesul de aer duce la funcționarea combustiei în limite de temperatură mult mai joase decît în cazul arzătoarelor clasice: 750—950 °C față de 1 500 °C. La asemenea temperaturi însă producerea de oxizi de azot din aer sau din combustibilul însuși este practic imposibilă. Mai mult. Un asemenea regim termic este foarte avantajos și pentru introducerea de calcar (carbonat de calciu) ca agent de captare a dioxidului de sulf și transformare a sa în sulfat de calciu. În sfîrșit, metoda asigură evitarea aglomerării particulelor de cărbune și permite deci o ardere completă, o mai bună captare și distribuire a căldurii rezultate, într-un cuvînt o eficiență energetică mult sporită.

Apărută ca principiu prin anii '50, metoda a fost neglijată ulterior de promotorii ei, specialiștii din Marea Britanie, datorită dezvoltării energeticii nucleare și a avantajelor centralelor termoelectrice pe bază de țiței sau gaze naturale. La începutul deceniului '70 și mai ales astăzi, o dată cu ascuțirea crizei hidrocarburilor fosile, studiul combustiei în pat fluidizat a fost reluat și adîncit. În prezent, sub coordonarea Agenției Internaționale a Energiei, Marea Britanie, S.U.A. și R. F Germania finanțează construirea unei termocentrale experimentale cu arzătoare în pat fluidizat de cîteva zeci de megawați la Grimethorpe în regiunea Yorkshire. Există deja mai multe tipuri de arzătoare cu pat fluidizat. Unele funcționează la presiune atmosferică și sînt perfect adecvate centrale-

lor de mici proporții, iar altele la presiuni ridicate — deocamdată pînă la 10 atmosfere — ele fiind indicate în cazul producerii pe scară largă a energiei electrice. În afara energeticii, combustia cărbunelui în pat fluidizat se pretează însă și la acționarea unor vehicule. Căile ferate pot fi primele beneficiare ale acestui nou mod de a folosi un vechi combustibil. Propulsia navală va urma, se crede, același drum. Chiar unele vehicule rutiere grele, ca autocamioanele sau tractoarele, ar putea recurge în viitor la această deosebit de interesantă metodă.

Nu lipsesc nici încercările de a adapta cărbunele... la propulsia automobilului. Nu este poate lipsit de interes să amintim aici faptul că ceea ce pare să devină o soluție pentru automobilul sec. XXI a apărut, ca idee tehnică, încă în sec. XIX. În anul 1899 Rudolf Diesel — inventatorul motorului atît de răspîndit astăzi, care-i poartă numele — realizase deja un model experimental de motor cu cărbune-praf. Avantajele deosebite ale alimentării cu hidrocarburi lichide extrase din foarte ieftinul — la acea vreme, precum și încă mulți ani după aceea — țiței, corelate cu dificultățile majore ale utilizării noului tip de combustibil au făcut ca soluția genialului inventator să fie privită doar ca un fel de curiozitate istorică timp de aproape un secol.

Este ea însă astăzi în pragul materializării generalizării? Specialiștii de la „General Motors", ne asigură că da. Într-adevăr cunoscutul concern automobilistic american a prezentat nu demult specialiștilor și ziariștilor de știință două autoturisme de litraj mijlociu, cu o putere de 85 CP, acționate de către motoare cu cărbune. Acestea au fost puse la punct în cadrul unui vast program de dezvoltare tehnologică, eșalonat de-a lungul unei perioade îndelungate de timp, la centrul de cercetări Warren, în statul Michigan.

Sub aspect constructiv, noul motor nu se deosebește prea mult de clasicul motor în patru timpi cu benzină. El este acționat însă în acest caz de către o pulbere extrem de fină de cărbune a cărui granulație nu depășește trei microni, adică fiecare particulă măsoară pînă la trei miimi de milimetru în diametru. Praful de cărbune este cunoscut ca fiind una dintre cauzele accidentelor miniere: 70 g de pulbere de carbon dispersate într-un metru cub de aer

constituie un amestec puternic exploziv pe care o scînteie oricît de mică îl poate detona cu ușurință. În motorul automobilului această periculoasă caracteristică devine un mare avantaj. Aerul comprimat aduce combustibilul în carburator, unde senzori de rezistență dielectrică și o sondă detectoare de monoxid de carbon asigură „prepararea" amestecului de aer-carburant în proporțiile optime. Supape speciale de oțel inoxidabil, de formă concavă, pentru a împiedica depunerea particulelor de carbon, permit admisia amestecului în primă fază în camera de ardere preliminară unde el este comprimat, aprins și ars parțial, iar apoi în cilindru. Pistonul are o formă specială, mult alungită, permițînd o mai bună preluare a energiei gazelor aprinse, precum și o protecție sporită față de acțiunea acestora. Un regulator de impulsuri controlează electronic cantitatea de amestec carburant admisă în cilindru, iar un dispozitiv suplimentar de insuflare a aerului asigură evacuarea gazelor de eșapament și a suspensiei de particule nearse.

Un asemenea motor nu numai că este în stare să funcționeze, dar prezintă deja, în această fază incipientă a punerii sale la punct, chiar unele avantaje față de tipurile clasice cu benzină sau motorină. Cel mai important dintre ele se referă la randamentul utilizării combustibilului: motorul cu cărbune-praf este cu circa 60% mai eficient. Ca urmare, un automobil de acest fel cu puterea de 85 CP nu are nevoie pentru a parcurge 100 km decît de 7,1 l de carburant, în timp ce unul cu motor clasic de aceeași putere ar consuma 12 l de benzină (varianta Otto) sau 10 l de motorină (varianta Diesel). De asemenea, autonomia de deplasare calculată pentru un „plin" de 60 l ar crește de la 500 la 845 km. În sfîrșit, costul parcurgerii unei distanțe de 100 km ar fi de 10—12 ori mai redus.

Oricît ar fi de atractive aceste caracteristici, ele pot și chiar trebuie îmbunătățite în continuare. Aceasta deoarece arderea particulelor nu este întotdeauna completă, iar grăuncioarele de carbon și cele de cenușă au tendința de a adera la suprafața cilindrului sau a conductelor, diminuînd în mod corespunzător randamentul. Soluția problemei pare să se și contureze: scăderea conținutului de „steril" din cărbune, lucru posibil astăzi de realizat prin procedee speciale de separare. Perfecționarea sistemelor

de păstrare și încărcare a combustibilului, de admisie și injecție în camera de ardere preliminară și în cilindru, elaborarea unor materiale mai bine adecvate proceselor de ardere specifice unui asemenea motor sînt alte căi de creștere a eficienței sale în perioada următoare.

Tehnologii moderne sînt în curs de elaborare nu numai pentru arderea și folosirea cărbunelui, ci și pentru extracția și transportul acestuia. Astfel, alături de utilaje perfecționate, de mare productivitate și cu un înalt grad de automatizare, proiectate pentru a lucra atît în subteran, cît și în exploatările la zi, se înscriu și preocupările pentru transportul cărbunelui prin . . . conducte. Ideea a pornit, așa cum arată autorii, de la necesitatea vehiculării unor mari cantități de cărbune, provenit din așa-numita „axă vestică". Despre ce este vorba? În vestul S.U.A., pe o distanță de peste 1 500 km se află dispuse, de la nord spre sud, importante zăcăminte de cărbuni. Ele prezintă un interes economic deosebit, mai ales în contextul restrîngerii bazei de hidrocarburi fosile. Dar din păcate „axa vestică" este în același timp situată la distanțe mari de centrele industriale de pe coasta de est a S.U.A. — 1 500 pînă la 2 000 de mile (1 milă=1,6 km) —, cît și de cele de pe coasta de vest — 500 pînă la 700 mile. Transportul pe calea ferată — mijlocul clasic de rezolvare a problemei aprovizionării — implică cheltuieli din ce în ce mai ridicate. În costul tonei de combustibil livrate beneficiarului, cota deținută de transporturi capătă valori tot mai importante. De ce nu s-ar recurge deci la conducte?

Soluția este, desigur, fascinantă. Ea presupune însă transformarea cărbunelui derocat într-o masă fluidă. Aceasta se realizează în stația de preparare. Aici, cărbunele extras în mine este măcinat și amestecat cu apă. Proporțiile amestecului cărbune-apă sînt de circa 50 la sută în greutate. Șlamul astfel obținut este destul de omogen pentru a putea fi împins de pompe puternice prin conducte. Ajuns la beneficiar, noroiul carbonifer este supus operației de separare a apei, care se realizează prin filtrare și centrifugare. Pulberea de cărbune este apoi utilizată ca atare sau brichetată.

Departe de a fi numai un simplu proiect, transportul cărbunelui prin conducte a intrat în faza experimentală. Există deja două conducte de acest fel în lungime de 108 și 273 de mile prin care se transportă anual 1,3 și, respectiv, 5 milioane de tone de combustibil. Pe baza acestor rezultate s-a trecut la elaborarea unor proiecte mult mai vaste. Se preconizează astfel construirea în anii viitori a unui sistem de „carbo-ducuri" capabil să asigure transportul a 15 sau chiar 30 milioane tone de combustibil solid anual la distanțe de 1 000 sau 1 500 de mile.

Creșterea distanțelor și a debitelor de fluid a impus examinarea celor mai potrivite soluții tehnice de transport prin conducte. Astfel, pentru ceea ce se denumește în prezent „transportul convențional", cea mai indicată concentrație de cărbune în șlamul apos ar fi de 38,5 la sută în greutate. Fluidul s-ar putea deplasa prin conducte cu diametrul de 30 sau 42 de țoli cu viteze de aproape 2 m pe secundă. Funcție de cantitatea de cărbune vehiculată — 15 sau 30 milioane tone pe an — necesarul de apă s-ar ridica la 13 sau 26 de milioane de m^3. Stațiile de pompare ar trebui amplasate la fiecare 75 de mile ale traseului.

Pentru a spori cantitatea de combustibil transportat prin conducte și a reduce necesarul de apă se studiază în prezent creșterea concentrației de solid în suspensia fluidă. Optimul în această direcție — capabil să asigure o curgere laminară, fără separarea celor doi componenți ai șlamului — pare să fie, pentru distanțele mari amintite, o concentrație de 48 la sută solid în greutate. Conductele pentru transportul cărbunelui în fază densă ar putea avea aceleași diametre ca și în cazul precedent, dar stațiile de pompare ar trebui să fie mult mai dese: la 25 de mile una de alta. Puterea sistemului de pompe ar crește de la 140 CP/milă la 420 CP/milă pentru un „carbo-duc" cu o capacitate de transport de 15 milioane tone pe an și de la 210 CP/min la 490 CP/milă în cazul unuia cu o capacitate de 30 milioane tone pe an.

Și alte fluide pot servi însă ca agent de transport al cărbunelui. Printre posibilii candidați se numără țițeiul brut, petrolul sau gazolina, metanolul sau chiar gazele de sondă lichefiate. Avantajele ar fi în acest caz duble: prin aceleași conducte s-ar transporta concomitent combustibili și materii prime prețioase, iar stația terminus nu ar mai fi confruntată cu necesitatea epurării și evacuării unor mari cantități de ape reziduale. Mai mult, corodarea in-

stalațiilor ar fi mult mai redusă, amestecul uleios nefiind atît de agresiv ca cel apos. Un asemenea sistem de pompare ar putea fi constituit din conducte de 30 sau 42 țoli și ar asigura transportul a 15 sau 30 milioane tone de cărbune într-un șlam petrolier cu un conținut de 39 la sută solid. Distanța dintre stațiile de pompare ar fi de 75 mile. În sfîrșit, pentru cazurile cînd apa — devenită în ultimii ani ea însăși o materie primă tot mai greu de procurat — nu se găsește în cantități suficient de mari în apropierea zăcămîntului de cărbuni exploatat se preconizează realizarea unui sistem de reciclare a acesteia. Prin conducte suplimentare ea ar putea fi readusă de la destinatar, după separarea cărbunelui, pentru a servi la transportul unor noi cantități de combustibili solizi.

• *Gazele naturale astăzi și mîine.* Benzină și gaze naturale: pentru nespecialiști, aceste două noțiuni sînt perfect distincte și desemnează produse cu totul deosebite. Pentru chimiști însă nu este vorba decît de aceleași substanțe — hidrocarburi a căror stare de agregare diferă: lichidă în primul caz, gazoasă în al doilea. Gazul natural este de fapt un amestec de diferite hidrocarburi saturate, adică de substanțe în care valențele atomilor de carbon sînt în întregime „ocupate" de atomi de hidrogen. Seria acestora, denumită alcani, începe cu metanul (CH_4) și continuă cu etanul (C_2H_6), propanul (C_3H_8), butanul (C_4H_{10}) etc. Evident, însă numai primii compuși ai seriei sînt gaze, ceilalți fiind prezenți în fracțiunea lichidă a unui zăcămînt natural, alături de alte tipuri de hidrocarburi.

Conținutul în diferite tipuri de alcani variază de la un zăcămînt la altul, astfel încît nu se poate da o compoziție medie a gazelor naturale. În toate cazurile însă metanul este preponderent. El reprezintă 70 pînă la 95% din volumul gazului natural. În ordinea procentuală urmează apoi etanul, propanul și butanul care dețin împreună cel mult 15% din volumul unei „pungi de gaze". Aceasta mai poate cuprinde însă și gaze necombustibile, ca azotul sau dioxidul de carbon. Uneori, gazele naturale conțin și hidrogen sulfurat, un acid extrem de corosiv ce pune în pericol metalul instalațiilor de extracție. Aceste eventuale componente stînjenitoare ale amestecului pot fi separate înainte de folosirea gazelor naturale, mai ales atunci cînd ele nu sînt utilizate ca simplii combustibili de centrală,

ci servesc la propulsia motoarelor sau ca bază de materii prime în industria chimică. Desulfurarea gazelor, adică izolarea hidrogenului sulfurat, poate furniza materia primă pentru o industrie în plină ascensiune — cea a sulfului. Acesta este, de exemplu, cazul exploatării gazelor din zăcămîntul de la Lacq, în sudul Franței, unde hidrogenul sulfurat deține o pondere de 15,2%. Aici, paralel cu energetica și petrochimia, s-a dezvoltat o înfloritoare industrie a obținerii și prelucrării sulfului. Separarea sulfului din gaze a început să fie realizată, din 1981, și în țara noastră.

Formarea alcanilor este pusă pe seama descompunerii anaerobe a resturilor vegetale, procese ce au avut loc în nămolurile lagunare, la fel cum au loc și astăzi în mlaștini unde ia naștere metanul — „gazul de baltă". O altă ipoteză presupune că moleculele simple ale alcanilor sînt rezultatul degradării unor molecule mai complexe de hidrocarburi petroliere: sub influența căldurii proceselor geotermice acestea s-au rupt, suferind un adevărat tratament de cracare, al cărui rezultat îl constituie gazele naturale.

Indiferent care ar fi proveniența lor — ambele ipoteze pot fi confirmate, funcție de zăcămînt — utilitatea gazelor naturale a fost recunoscută de om și mai tîrziu decît cea a petrolului. Prima conductă importantă de gaze a fost construită abia în 1938, în Italia. În ciuda dezvoltării ulterioare, exploatarea gazelor naturale a continuat să rămînă mult în urma exploatării țițeiului. Deși producția de gaze naturale a atins valori apreciabile, abia actuala criză energetică mondială a relevat adevărata valoare a acestora. Astăzi rezervele sînt inventariate cu grijă, prospecțiunile sînt întreprinse cu febrilitate pe toate meridianele globului.

Cele mai mari rezerve de gaze naturale se află, se pare, în U.R.S.S.: aproximativ 25 770 miliarde de m^3. Cea de a doua țară în ierarhia mondială este Iranul, care dispune de 14 160 miliarde m^3. Urmează apoi S.U.A., unde au fost identificate 5 800 miliarde m^3, Algeria cu 2 970 miliarde m^3, Arabia Saudită cu 2 660 miliarde m^3, Canada cu 1 670 miliarde m^3, Olanda cu 1 635 miliarde m^3, Nigeria cu 1 190 miliarde m^3, Venezuela cu 1 160 miliarde m^3 și

Australia, cu 880 miliarde m^3. Totalul celor 71 210 miliarde m^3 gaze naturale exploatabile în prezent și rezervele estimate de 158 360 miliarde m^3 de care ar dispune Terra formează un disponibil care ar asigura menținerea actualului nivel de producție timp de 160 de ani.

Ar fi însă atinsă cu aceasta ultima limită a rezervelor de gaze naturale ale Pămîntului? Nicidecum, afirmă numeroși oameni de știință. În sprijinul afirmației lor ei aduc argumente serioase. Astfel, în unele zone ale Terrei în care se extrag cantități mari de hidrocarburi fosile gazoase prospectarea geologică este departe de a fi încheiată. În Marea Nordului, de exemplu, s-ar mai afla cel puțin de trei ori mai multe zăcăminte decît au fost identificate pînă în prezent. Cazul unor țări cu bogate resurse, ca Nigeria sau unele state din Golful Persic, este similar: ceea ce se cunoaște despre subsolul lor este încă destul de incomplet. Pe de altă parte, nu s-au făcut nici un fel de prospecțiuni dincolo de paralela de 62°, în zona calotelor polare, unde specialiștii afirmă că s-ar afla noi și importante rezerve. În sfîrșit, în ultima vreme s-a constatat că nu este neapărat necesar ca acumulările de gaze naturale să însoțească zăcămintele de țiței. În R. F. Germania, de exemplu, s-au efectuat cercetări geologice pentru gaze naturale încununate de succes în zone unde s-a abandonat de mult orice speranță de a mai găsi țiței. Forajele de mare adîncime — de 9 000—10 000 m în scoarța terestră și de 1 500—2 000 m în subsolul oceanic — pot aduce și ele numeroase surprize.

Gazele naturale se dovedesc a fi o alternativă la fel de convenabilă ca și petrolul. Puterea calorifică ridicată — metanul: 9 termii/m^3; propanul: 23 termii/m^3; butanul 30 termii/m^3 — și manevrabilitatea extrem de simplă, pretabilă la automatizarea rețelei de conducte de distribuție, fac din ele un combustibil energetic de prim rang. Dovezi în sprijinul ascensiunii gazelor naturale în balanța energetică și industrială a lumii moderne o constituie eforturile tehnice ce se fac pentru a asigura transportul lor. Asemenea petrolierelor, astăzi navighează pe mările și oceanele lumii gigantice nave metaniere, adevărate uzine plutitoare. Cu ajutorul instalațiilor frigorifice ele mențin la —162°C gazele în stare lichidă, micșorîndu-le de

circa 600 de ori volumul și asigurînd astfel transportul rentabil al acestora. Vase cu capacități de 125 000 m^3 de gaze lichefiate nu mai sînt de mult o raritate. Producția lor în șantierele navale continuă, dimensiunile și capacitățile devenind tot mai impresionante. A crescut și continuă să crească totodată numărul stațiilor de lichefiere: dacă în prezent funcționează 8 asemenea stații, în curînd li se vor adăuga încă 4. De asemenea, în ultimii ani, gazoducurile continentale și suboceanice însumează mii și zeci de mii de kilometri, iar tendința de lărgire a acestor rețele este constantă. Cel mai spectaculos exemplu în acest sens îl constituie conducta care va lega Algeria — prin Tunisia — de Italia și care va traversa Mediterana la adîncimi de pînă la 600 m.

În ultima perioadă atenția oamenilor de știință se îndreaptă tot mai mult spre valorificarea superioară a așanumitelor „gaze de sondă". Ele constituie o rezervă importantă pentru energetica și petrochimia deceniilor viitoare. Deocamdată însă o bună parte a acestora se irosește. Fotografiile, imaginile televizate ne-au familiarizat cu peisajul arid al deșertului în care, pe fundalul dunelor de nisip, se conturează torțele arzînde ce însoțesc exploatările de petrol. Ce se arde de fapt aici?

Se știe că zăcămintele de țiței sînt formate din amestecul mai multor tipuri de hidrocarburi dintre care unele — metanul, etanul, propanul, butanul — sînt sub formă gazoasă. Într-un zăcămînt tipic, deasupra rocii impregnate cu petrol lichid se găsește o „cupolă" de gaze. Țițeiul însuși este saturat cu gaze dizolvate în masa lichidă. Desigur, proporția de gaze variază de la un zăcămînt la altul. Unele zăcăminte nu conțin aproape deloc gaze, fapt extrem de dezavantajos deoarece extracția petrolului se bazează pe ridicarea lichidului de către gazele sub presiune prin puțul forat. Țițeiul obținut prin această metodă este amestecat cu gaze de sondă, la fel cum șampania care țîșnește din sticla proaspăt desfundată este saturată de dioxid de carbon.

Pentru a putea fi transportat și utilizat fără pericol de explozie, petrolul trebuie separat de periculoasele sale componente gazoase. Dacă zăcămîntul se află într-o zonă industrială, unele componente ale gazelor de sondă cum ar fi propanul și butanul se îmbuteliază sau se expediază la

consumatori prin rețele speciale de conducte care țin seama de punctele ridicate de lichefiere a acestora (—42°C pentru propan și numai —1°C pentru butan). Dacă însă zăcămîntul de țiței se află în zone greu accesibile, departe de consumatori, după separare, date fiind „dificultățile" ridicate de transport, gazele de sondă se reinjectează pentru a mări randamentul de recuperare a țițeiului sau... se ard. Cum din păcate majoritatea zăcămintelor se află în prezent răspîndite în perimetre din ce în ce mai vaste, la distanțe tot mai mari de punctele de încărcare sau consum, această practică extrem de păgubitoare este destul de răspîndită. În unele țări, printre care și țara noastră, arderea ca deșeu a gazelor asociate cu țițeiul este interzisă.

Se apreciază că, în medie, fiecare tonă de țiței este însoțită de circa 150 metri cubi de gaze de sondă. Raportate la zecile de miliarde de tone de țiței din zăcămintele cunoscute astăzi în lume, ele formează desigur, o rezervă extrem de importantă. Producția de gaze naturale comercializate a fost la începutul deceniului nostru de circa 1 260 milioane tone echivalent petrol anual, deci peste o treime din totalul producției mondiale de țiței. În aceeași perioadă au fost însă arse în fiecare an în schelele petroliere următoarele volume de gaze: 37,8 miliarde m^3 în Arabia Saudită, 24,3 miliarde m^3 în Nigeria, 12,8 miliarde m^3 în Algeria, 10,75 miliarde m^3 în Indonezia etc. Gazele de sondă arse s-au ridicat la importanta cifră de 189,33 miliarde m^3, adică la 10,4% din producția mondială.

Ce înseamnă, numai sub un singur aspect economic, această risipă, pe care, desigur, omenirea nu și-o va mai putea permite multă vreme, relevă analiza posibilităților de utilizare a gazelor de sondă drept combustibili în motoarele autovehiculelor. Din punct de vedere tehnic o asemenea alimentare a automobilelor nu ridică nici o problemă. O simplă modificare a carburatorului și a rezervorului este suficientă pentru reconvertirea autovehiculului la noul carburant propan sau butan.

Înlocuirea este nu numai posibilă, ci și avantajoasă. Motorul este mai puțin solicitat, longevitatea sa crește. Pe de altă parte, gazul natural este cel mai „curat" carburant dintre combustibilii fosili. El nu trebuie aditivat cu plumb, iar procentul de gaze nearse este mult mai scăzut decît în cazul benzinei. Mai mult, în această direcție există deja o experiență solidă. În S.U.A. sînt consumate anual ca înlocuitori ai benzinei 2,5 miliarde tone de propan. Din motive de protejare a mediului înconjurător, Japonia a adoptat aceleași măsuri, pe scară extrem de largă. În aglomeratul și poluatul Tokio circulă cu ajutorul butanului peste 270 000 de automobile. În țările Europei ca și în țara noastră, această experiență proliferează.

• *O mare promisiune: șisturile bituminoase.* Resursele de materii prime energetice și petrochimice de care se leagă mari speranțe pentru deceniile și chiar secolele următoare sînt constituite din aglomerări de roci pe care geologii le-au denumit șisturi bituminoase. Este vorba de regulă despre straturi de roci în general puțin permeabile în care se află depozitate cantități mai mari sau mai mici de resturi de materie organică — produsele descompunerii anaerobe ale unor organisme vii, ca bacterii, alge, plancton, pești etc. — care, în condiții speciale, ar fi dus la formarea unor zăcăminte de țiței. Putrezind în scoarța terestră, ele au dat naștere, de asemenea, la hidrocarburi. Cum însă condițiile de formare a petrolului nu au fost întrunite, rezultatul evoluției depunerilor organice îl constituie nu țițeiul, adică hidrocarburile libere, ci o materie organică apropiată de acestea numită kerogen, înglobată în masa rocii. Încălzite în absența aerului la 450—500°C, șisturile bituminoase conduc la obținerea unui ulei greu — așa-numitul „ulei de șist" — produs perfect comparabil ca structură fizică și compoziție chimică cu un țiței greu obișnuit.

Lucru extrem de curios, exploatarea și distilarea uscată a șisturilor bituminoase este cu mult anterioară forajelor de extracție a țițeiului. Asemenea distilării cărbunelui, încălzirea în retorte a șisturilor bituminoase a constituit în secolele trecute o surprinzătoare direcție de valorificare — e drept, foarte limitată — a resurselor de materii prime oferite cu generozitate de natură.

De ce nu au devenit încă șisturile bituminoase o importantă materie primă, mai ales dacă ne gîndim că răspîndirea lor pe Terra este mult mai largă decît a zăcămintelor de țiței și gaze naturale?

Întrebarea este fără îndoială justificată. Planeta Pămînt dispune de mari acumulări de kerogen. Geologii au identificat zăcăminte mari de șisturi bituminoase în S.U.A. — în statele Colorado, Utah și Wyoming, unde conform unor aprecieri s-ar găsi aproximativ jumătate din rezervele exploatabile astăzi cu ajutorul tehnicilor cunoscute —, precum și în Brazilia, Venezuela, Trinidad, Scoția, Anglia, U.R.S.S., Canada, China, Franța etc. Din păcate unele din aceste zăcăminte, cum sînt șisturile jurasice din Anglia, au un conținut mare de sulf, ceea ce le face, deocamdată, improprii valorificării prin distilare. Dar celelalte?

În condițiile restrîngerii tot mai accentuate a bazei de combustibili fosili și de materii prime pentru petrochimie, șisturile bituminoase reprezintă o mare promisiune. În S.U.A., de exemplu, zona cea mai importantă a acumulărilor de șisturi bituminoase se întinde pe o suprafață de 25 000 mile pătrate. Conform rezultatelor lucrărilor de prospectare, ele formează straturi de 3 sau 4 m grosime. Conținutul de țiței exploatabil este cam de 100 l pe fiecare tonă de șist. Aceasta reprezintă nu mai puțin de 600 miliarde de barili exploatabili (1 baril = 159 l). La ritmul actual de consum, S.U.A., cel mai important dintre „clienții" pieței aurului negru, și-ar putea asigura pe această bază autonomia timp de un secol!

Dar aceasta nu este încă totul. Coborînd în profunzimea scoarței, sub alte straturi geologice, se află un nou zăcămînt care cuprinde cam 80—100 l ulei de șist/tonă. Cele 1 000 miliarde de barili de țiței aflați aici constituie rezerva pentru încă 100—140 de ani.

Cazul zăcămintelor de nisipuri asfaltice din Canada este similar. Acestea sînt nisipuri cu o structură mai mult sau mai puțin argiloasă care conțin o cantitate însemnată de material organic sub formă de hidrocarburi sau alți compuși puternic legați de rocă, ce nu pot fi extrași prin metodele obișnuite în industria petrolieră, ci numai prin distilare.

Conform estimărilor actuale, nisipurile asfaltice din Canada conțin aproximativ 1 000 miliarde de barili de țiței — sau, cu alte cuvinte, cam 161 miliarde de tone —, cantitate care ar putea asigura consumul actual al umanității timp de peste o jumătate de secol. Cel mai important zăcămînt identificat aici este cel situat de-a lungul fluviului Athabasca, în provincia Alberta, care ocupă o suprafață de circa 50 000 km².

Din imensa rezervă canadiană numai 10% s-ar preta exploatării „la zi" și numai 5%, ceea ce corespunde unei cantități de 26,5 miliarde de barili de țiței, s-ar afla la o adîncime de cel mult 46 m, limită la care se consideră că se află „bariera" de economicitate actuală a exploatării mecanizate în carieră. Constatarea este de o mare importanță dacă ne gîndim că, deocamdată, singura metodă prin care se pot exploata industrial șisturile bituminoase și nisipurile asfaltice o constituie tehnicile miniere.

Aceasta este de altfel și cauza pentru care șisturile bituminoase și nisipurile asfaltice nu au intrat încă într-o proporție largă în circuitul de materii prime energetice și petrochimice al lumii. Cum costurile de producție a țițeiului de șist sînt încă mari, cum decopertarea, exploatarea cu ajutorul draglinelor și excavatoarelor de mari dimensiuni, transportul și prelucrarea șisturilor bituminoase și a nisipurilor asfaltice necesită investiții uriașe, este încă mult mai profitabil să obții prețioasele hidrocarburi din țiței prin simple foraje, mai ales dat fiind faptul că petrolul erupe spontan, ridicîndu-se singur, datorită presiunii proprii a zăcămîntului, la suprafață.

Situația se prezenta într-adevăr așa, susțin adepții exploatării șisturilor, pe vremea abundenței țițeiului ieftin. Astăzi însă, cînd el este extras cu tot mai multe eforturi tehnice și materiale de la adîncimi din ce în ce mai mari, din ocean sau din zonele polare, datele problemei se schimbă complet.

Ce se poate face deci astăzi cu acești bolovani de rocă bituminoasă, asemănători atît ca aspect cît și ca mod de obținere cu cărbunele?

Desigur, în primul rînd, ei pot fi arși, la fel cum este ars în termocentrale cărbunele. În R.S.S. Estonia, de exemplu, unde se află de asemenea importante rezerve de șisturi bituminoase, ele contribuie în proporție însemnată la asigurarea necesarului de energie electrică și termică al republicii. Puterea calorifică redusă (1 000—1 200 kcal/kg), precum și cantitatea mare de cenușă rezultată la ardere plasează șisturile bituminoase și nisipurile as-

faltice în categoria combustibililor solizi inferiori. Valorificați doar în acest mod ei ar constitui, cel mult, un concurent al cărbunelui. Dar acesta din urmă este el însuși o resursă care nu a revenit încă la nivelul de cerere pe care îl cunoscuse înainte de epoca supremației petrolului.

Mult mai avantajoasă decît simpla ardere ar fi, subliniază numeroși specialiști, distilarea șisturilor bituminoase în scopul obținerii de țiței sintetic. Cum în această direcție există o experiență solidă, provenită din înfloritoarea industrie cocsochimică, numai problema prețului petrolului obținut pe această cale a împiedicat ascensiunea acestei noi ramuri extractive. Totuși, în unele țări ale lumii s-au făcut și se fac eforturi pentru valorificarea superioară a marilor rezerve de șisturi de care ele dispun. În Canada, în provincia Alberta, funcționează deja două „fabrici" de petrol a căror materie primă o constituie nisipurile asfaltice.

Astfel, în cadrul lui „Great Canadian Project" a fost aleasă o suprafață de 20 km² în care stratul de „minereu" de țiței cu grosimea de 30—70 m se află în adîncimi de 15—25 m de suprafața pămîntului. După ce pătura de pămînt care acoperea zăcămîntul a fost îndepărtată, s-a trecut la exploatarea nisipului asfaltic. Excavat cu ajutorul unor utilaje de mare capacitate, el este condus de benzi rulante la instalația de extracție. Aici roca este tratată cu apă fierbinte, vapori și o soluție alcalină. În șlamul astfel obținut este barbotat aer, fapt care face ca substanța organică să se acumuleze la suprafață. După o separare prin centrifugare, bitumul obținut este distilat în trei baterii de cazane cu diametrul de 7,9 m la 510°C. Din proces rezultă mai multe produse: un cocs de petrol, distilate lichide și gaze. Părțile mai volatile cuprind și componenți nedoriți, cum ar fi sulful sau azotul. După îndepărtarea lor, procesul de fracționare a lichidelor continuă cu obținerea de păcură, gazolină și benzină. Cum acestea sînt în general formate din hidrocarburi nesaturate urmează un proces de hidrogenare. Fracțiunile tratate și recombinate constituie un petrol sintetic cu o compoziție uzuală, care este pompat printr-o conductă cu diametrul de 40 cm pe o distanță de 428 km pînă la terminalele de la Edmonton. Cocsul este folosit în șantier pentru distilare, pentru obținerea vaporilor necesari în faza de

tratare, precum și la producerea energiei electrice. Pe această cale, în șantierul lui „Great Canadian" s-a atins o producție de 45 000 barili de țiței pe zi. În prezent se fac aici noi investiții care vor permite ridicarea capacității de producție la aproape 60 000 barili.

În aceeași zonă a nisipurilor asfaltice de pe malurile fluviului Athabasca a fost dată în funcțiune și o altă uzină de „fabricare" a țițeiului. Proiectul „Syncrude" (Syntetic crude oil = țiței sintetic) are la bază, în linii mari, aceeași tehnologie. El realizează însă un grad mai înalt de obținere pentru fracțiile lichide — 85% din bitumul introdus în bateriile de distilare este recuperat sub formă de țiței sintetic — și unul mai mic pentru cocs — 15%, adică cu aproximativ 7% mai puțin decît la instalațiile lui „Great Canadian". Și producția zilnică este mai mare: în momentul atingerii capacității proiectate ea va fi de 109 000 barili pe zi, iar în perspectivă se prevede chiar sporirea capacității de producție la 130 000 barili pe zi. Cu aceasta nu va fi atinsă însă limita posibilă, dat fiind că zăcămîntul aflat în exploatare în cadrul proiectului „Syncrude" permite un randament de pînă la 200 000 barili pe zi.

Analiza prețului de cost al țițeiului sintetic obținut în cadrul celor două uzine canadiene indică faptul că, în ciuda investițiilor mari ce au fost necesare, el este de pe acum sensibil inferior celui al țițeiului natural adus din Golful Persic. În jurul anului 2000, estimează economiștii canadieni, el va fi chiar cu 50% mai scăzut.

O bună experiență în ceea ce privește distilarea șisturilor bituminoase există și în U.R.S.S., în Estonia. În principiu, modul de obținere a țițeiului sintetic este simplu: excavarea șistului este urmată de concasarea rocii și de distilarea ei în absența aerului. Cercetările privind distilarea uscată a kukeristului — șistul de Baltica — au dus la identificarea a trei categorii de „minereuri" de țiței. Pentru prelucrarea primei calități de șist, care are un conținut de minimum 15—20% materie organică, au fost elaborate planurile unei instalații de distilare cu capacitate de 1 000 t/zi. Ea se află în prezent în construcție. Pentru șisturile mai sărace care permit o recuperare sub formă de țiței a maximum 10—15% din cantitatea de rocă distilată a fost pus la punct proiectul unei instalații mai mari,

cu o capacitate de prelucrare de 30 000 t/zi. În acest caz și granulația particulelor de șist este mult mai fină (1—25 mm față de 25—125 mm). Cea din urmă categorie de șist, care conține o proporție mare de parafine grele, a fost considerată ca improprie pentru tratare în gazeificatoare și destinată exclusiv arderii.

Și în acest caz exploatarea șisturilor bituminoase s-a dovedit a fi rentabilă. Chiar dacă prețul țițeiului sintetic îl depășește pe cel al petrolului brut natural, valorificarea celor peste 40 de subproduse ce rezultă din procesul tehnologic — extrem de interesante pentru industria chimică sînt, de exemplu, apele fenolice care se obțin aici — face ca, în ansamblu, procedeul să fie avantajos din punct de vedere economic.

Dezavantajele distilării uscate a șisturilor bituminoase și nisipurilor asfaltice — metodă care permite totuși obținerea de materii prime pentru industria carburanților și lubrifianților, precum și pentru cea petrochimică în condiții de economicitate deja acceptabile — nu pot fi însă ignorate. Este vorba în primul rînd de investițiile mari în utilaje, de necesitatea unor vaste lucrări de excavare și transport a materiei prime și a reziduurilor, de imobilizarea unor întinse suprafețe, nu numai a celor exploatate, ci și a celor unde se depozitează „sterilul" — dintr-un metru cub de șist rezultă, în urma măcinării, un volum de 1,4 m^3 de nisip. De fapt, acest reziduu industrial nu este un steril: el cuprinde cantități însemnate de metale utile ca fier, aluminiu, calciu, vanadiu, molibden, cupru, cobalt, zinc, crom. Din păcate însă deocamdată nu au fost încă elaborate metode eficiente de extragere a acestora. Cum legislația privind conservarea mediului înconjurător este tot mai severă pretutindeni în lume, haldele de steril nu pot rămîne în așteptarea valorificării un timp prea îndelungat. Ele trebuiesc deci împrăștiate, solul trebuie replantat ca să nu-și piardă fertilitatea. O altă problemă o reprezintă apele reziduale ce trebuiesc tratate, epurate, purificate.

Toate acestea sînt operații dificile din punct de vedere tehnic și costisitoare din punct de vedere economic. Ele însă pot fi complet evitate. Cum? Prin aplicarea unui procedeu revoluționar: cel al combustiei subterane. El constă practic numai în forarea unor puțuri pînă în stratul de șist și în aprinderea acestuia. Arderea este întreținută de aerul insuflat prin puțurile de injecție. Pe măsură ce focul se propagă în subteran are loc o descompunere termică a materiei organice acumulate în rocă. Ea se deplasează sub acțiunea frontului caloric spre puțurile de extracție pe unde erupe datorită presiunii exercitate de gazele rezultate la ardere. În loc să se desfășoare la suprafață, în instalații costisitoare, procesul de distilare are loc chiar în zăcămînt, adică în gazogenul oferit cu generozitate de natură.

Deși pînă în prezent acest procedeu nu a fost transpus în practica exploatării șisturilor bituminoase datorită persistenței unor dificultăți serioase — spre exemplu, roca în care se află acumulată materia organică poate să nu fie suficient de permeabilă pentru a permite propagarea arderii, caz în care ea trebuie fracturată, „afînată", prin explozii subterane — proiectele nu lipsesc. Unul dintre cele mai interesante prevede obținerea pe această cale, din nisipurile asfaltice din Athabasca, a unei cantități de 19 000 tone țiței zilnic.

În țara noastră, exploatarea șisturilor bituminoase datează încă de pe la jumătatea secolului trecut. În zonele localităților Oravița și Anina fuseseră identificate zăcăminte importante — astăzi se estimează că ele sînt de ordinul sutelor de milioane de tone — care au fost exploatate și folosite la scară destul de largă sub formă de combustibil și ca materie primă pentru obținerea de uleiuri minerale, prin distilare.

În prezent, date fiind eforturile deosebite ce se fac pentru asigurarea autonomiei energetice a țării în anii următori, șisturile bituminoase se bucură de o binemeritată atenție în economia românească. Lucrările de explorare geologică au dus la identificarea unor noi bazine și zăcăminte situate în Carpații Orientali sau în Munții Tarcăului. În această din urmă zonă în special există se pare condiții deosebit de favorabile de exploatare. Șisturile bituminoase sînt dispuse sub forma unor benzi paralele foarte groase, extracția lor fiind posibilă în condiții de carieră. Explorările continuă și în alte județe ale țării.

Dată fiind existența unei însemnate baze de materii prime, valorificarea energetică a șisturilor bituminoase a și început. La cîțiva kilometri de Anina, s-a construit

o mare termocentrală care va avea în final o putere de 990 MW. Programul directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981—1990 și orientările principale pînă în anul 2000 prevede nu numai o creștere importantă a ponderii șisturilor bituminoase în balanța energetică a țării, ci și valorificarea acestora ca surse de hidrocarburi prin gazeificare.

2. Combustibilii sintetici

Reducerea disponibilului de combustibili fosili — în special de hidrocarburi provenite din petrol — a adus în „actualitatea" tehnologică ideea „fabricării" carburanților, a obținerii lor pe cale sintetică. De fapt, odată cu evoluția tehnicii energetice și a diferitelor tipuri de motoare utilizate în transporturile moderne, carburanții „clasici" ce au la bază țițeiul au devenit și ei tot mai sofisticați. Într-adevăr, la ce ne-ar folosi astăzi o producție abundentă de „aur negru" în absența instalațiilor de „rafinare" a acestuia? Aici el este supus unor prelucrări fizice — distilare, fracționare, extracție cu solvenți — sau chiar chimice — cracare termică și catalitică, reformare — în vederea obținerii unor anumite tipuri de hidrocarburi — benzine ușoare și grele, cu anumite cifre octanice, pentru motoarele cu explozie, „petrol" pentru motoarele avioanelor cu reacție, motorine de diferite calități pentru dieseluri etc. — ale căror proprietăți se pretează cel mai bine utilizărilor moderne. Încercările de „chimizare" a „minereurilor de petrol" care sînt șisturile bituminoase — despre care am vorbit în subcapitolul anterior — reprezintă un exemplu similar.

Pe măsura restrîngerii bazei de aprovizionare cu petrol, asemenea procedee încep să fie aplicate însă și altor resurse naturale sau artificiale care devin „materii prime" energetice. Cum, deocamdată, omenirea s-a obișnuit, în materie de combustibili, cu avantajele hidrocarburilor gazoase sau lichide, metodele tehnologice de obținere a carburanților artificiali vizează obținerea de hidrocarburi sintetice. Ori, asemenea substanțe se pot obține, conform unui procedeu devenit deja clasic — piroliza — din numeroase și abundente resurse. Cum se procedează în asemenea cazuri?

Printre reacțiile de prelucrare secundară a petrolului se numără și reacțiile de cracare și piroliză. Ele sînt reacții chimice care au drept urmare ruperea legăturilor dintre atomii de carbon. Fiind reacții endoterme, care necesită deci aport de energie, ele sînt favorizate din punct de vedere termodinamic de existența temperaturilor ridicate. În cazul în care cracarea are loc în prezența catalizatorilor, atunci ea poartă numele de cracare catalitică. Dacă pentru ruperea acestor legături chimice se folosește numai acțiunea căldurii, atunci ea se numește cracare termică. În mod convențional, pentru ruperea legăturilor C—C pînă la temperaturi de 650—700°C se folosește termenul de cracare termică, iar peste această limită de temperatură termenul de piroliză (de la cuvintele grecești *pyros* = foc și *lysis* = desfacere).

În toate cazurile însă reacția principală constă în ruperea catenei hidrocarburii în două sau mai multe hidrocarburi cu o masă moleculară mai mică decît a compusului inițial. În raport cu condițiile de lucru se obține, de regulă, un amestec complex de hidrocarburi, între care etena joacă un rol de bază. În afară de etenă se mai obțin și alte olefine sau aromate, ca propenă, butenă, izopren, benzen, toluen, xileni sau stiren. Paralel cu acești produși cu valoare economică ridicată mai rezultă, în cantități mai mici, și hidrogen, metan, naftene grele, uleiuri și rășini de piroliză, precum și cărbune.

Așadar, cu ajutorul unor procese chimice al căror mecanism intim, deși în general cunoscut și aplicat deja în practica industrială, continuă să formeze obiectul unor studii temeinice, atît în scopul lămuririi unor aspecte încă enigmatice, cît și al găsirii de noi „artificii tehnice" capabile să îmbunătățească randamentul reacțiilor, se realizează astăzi hidrocarburile necesare diferitelor compartimente ale activității economice contemporane. Ele nu se găseau în natură în această formă sau, dacă erau conținute în țițeiul brut, proporția lor era extrem de scăzută. În felul acesta, baza de materii prime pentru obținerea de combustibili și intermediari pentru sinteza substanțelor chimice utile este considerabil lărgită.

Dar, odată cu profilarea perspectivelor epuizării zăcămintelor de țiței, interesul oamenilor de știință pentru aceste procese a crescut considerabil. Cauza? Inspirîn-

du-se din piroliza fracțiilor grele ale petrolului natural, ei au început să studieze posibilitatea tratării după același procedeu a altor substanțe, în scopul asigurării, prin sinteză chimică, a necesarului mereu în creștere de combustibili și materii prime petrochimice.

Unul dintre cei mai importanți candidați la titlul de „înlocuitor" al hidrocarburilor fosile prin intermediul pirolizei este gazul de sinteză, un amestec de hidrogen și oxid de carbon. Valorificarea lui în acest sens nu este numai perfect posibilă, ci și, în unele cazuri, încă în zilele noastre pe deplin competitivă, sub aspect economic, cu „rafinarea" țițeiului brut.

După cum se știe, gazul de sinteză poate fi obținut din gaze naturale, cărbuni, șisturi bituminoase, reziduuri, biomasă și are deci asigurată o largă bază de materii prime pentru viitor. În prima etapă a înlocuirii tehnologiilor bazate pe țiței, calea, aparent mai lungă, gaz de sinteză — metanol — hidrocarburi va fi preferată celei de obținere directă a hidrocarburilor prin conversia gazului de sinteză, întrucît sinteza metanolului este o tehnologie bine cunoscută și larg aplicată industrial, în toată lumea, iar piroliza metanolului cu formarea de hidrocarburi se poate realiza printr-un proces relativ simplu, cu consumuri energetice reduse și cu randamente în produse utile de peste 95%. „Cheia" procesului o constituie catalizatorii pe bază de zeoliți sintetici, cu structuri și compoziție strict determinate.

Chimismul reacției este, de asemenea, foarte interesant și încercările de elucidare a etapelor intermediare prin care molecula relativ simplă a metanolului se transformă în amestecuri complexe de hidrocarburi olefinice, aromatice și parafinice nu s-au soldat deocamdată cu deplin succes. Global, se admite în prezent că, sub influența catalizatorului și temperaturii, molecula metanolului se scindează în apă și un compus organic radicalic sau ionic, foarte activ. Acestea se transformă în continuare, prin reacții de creștere a catenei, în etenă și propenă:

$$CH_3OH \longrightarrow H_2O + :CH_2$$

$$2 :CH_2 \longrightarrow CH_2{=}CH_2$$

$$CH_2{=}CH_2 + :CH_2 \longrightarrow C_3H_6$$

În continuare, reacțiile de transformare a olefinelor mici în hidrocarburi, parafinice și aromatice, sub influența catalizatorilor acizi, sînt, de asemenea, relativ bine cunoscute. Pe baza acestui mecanism de reacție, procesul de piroliză a metanolului a putut fi chiar modelat matematic.

Fluxul tehnologic cuprinde ansamblul de depozitare și alimentare cu metanol, sistemul de reacție-regenerare și instalația de separare a produselor rezultate. Reacția are loc la 350 — 450°C, la presiune normală sau presiuni ușor supraatmosferice, precum și la „încărcări" de 1—2 volume de metanol la un volum de catalizator pe oră. În funcție de condițiile de lucru și, mai ales, de tipul de catalizator întrebuințat, se obțin olefine cu greutate moleculară mică (etenă, propenă, butene), hidrocarburi aromatice (benzen, toluen, xileni) sau amestecuri de hidrocarburi lichide de tip benzine, petrol și motorine, deci întreaga gamă de materii prime de bază pentru petrochimie și carburanți sintetici.

În țara noastră, la ICECHIM, Institutul de energetică chimică și biochimică, s-au realizat catalizatorii specifici pentru toate reacțiile de transformare a metanolului în hidrocarburi, iar procesul se experimentează cu rezultate bune, într-o instalație pilot de concepție modernă, reacția și regenerarea catalizatorului făcîndu-se în „pat fluidizat", în flux continuu.

Aceluiași proces de piroliză îi pot fi supuse însă și alte materii prime, în special „deșeurile" rezultate din activitatea industrială și viața cotidiană a omului. La loc de frunte se înscriu aici materialele plastice uzate. Desigur, pe primul loc al preocupărilor se situează refolosirea prin reciclare a materialelor polimere uzate, pentru obținerea de obiecte similare. Această reciclare este însă limitată de doi factori majori. Este vorba despre procesele degradative (îmbătrînirea) ce au loc în cursul exploatării sau reprelucrării materialelor plastice, care-și reduc astfel progresiv proprietățile de întrebuințare, precum și despre existența unor impurificări sau (și) contaminări ale obiectelor din materiale plastice — în special ambalaje — care sînt practic de neeliminat sau eliminabile numai în condiții neeconomice. Acești factori au impus necesitatea găsirii unor utilizări finale ale materialelor plastice uzate care, dintr-un motiv sau altul, au devenit nere-

ciclabile. Asemenea metode de reutilizare au avut în vedere faptul că atît deșeurile nereciclabile, cît și materialele plastice uzate păstrează practic integrală compoziția chimică inițială, foarte bogată în carbon și hidrogen.

Piroliza, tehnologie bine stăpînită de petrochimie — „industria mamă" a producției de polimeri — constituie una dintre cele mai atractive căi de valorificare a conținutului de hidrocarburi al acestor resurse secundare. Procesul are loc la temperaturi ridicate, folosind diferite tipuri de instalații dintre care cele mai eficiente s-au dovedit cele continue.

În unele dintre acestea piroliza se desfășoară în utilaje în care materialul este transportat cu ajutorul unui „melc" (șurub fără sfîrșit) în interiorul unui cuptor cilindric încălzit, după care produsele rezultate sînt descărcate într-un rezervor în care se separă componentele gazoase de lichide și de cocs, fiecare urmînd a fi apoi diferit utilizate. În alte tipuri de instalații continue materialul de pirolizat mărunțit este suspendat într-un curent de gaze fierbinți, singure sau în amestec cu o pulbere minerală, de obicei nisip. Gazele antrenează componentele produse prin descompunere care se separă apoi în scrubere, cicloane, condensatoare etc. Deoarece mărunțirea este un proces energointensiv, s-au imaginat instalații la care obiectele întregi sînt transportate pe un traseu de-a lungul căruia sînt stropite cu fluide fierbinți pulverizate ce produc piroliza și antrenează componentele formate în cursul acesteia. În mod obișnuit, ca asemenea fluide se folosesc chiar componentele rezultate din piroliză. Indiferent de variantă, pentru piroliză se folosesc și catalizatori care accelerează procesul în direcția aleasă.

Produsele rezultate din piroliză se folosesc în diferite scopuri. Fracțiile volatile și gazele pot fi folosite în vederea izolării substanțelor individuale ce formează amestecul și utilizate în procese de sinteză drept materie primă — dar o asemenea tehnologie presupune existența unor instalații de separare și de purificare avansată — sau drept combustibil. Fracțiile lichide se consumă de asemenea, drept combustibil, iar pentru cocsul rezultat se încearcă utilizarea în calitate de colorant (negru de fum) în amestecurile de cauciuc.

Instalațiile de piroliză realizate pînă în prezent pe plan mondial au încă un caracter experimental. Și în țara noastră se desfășoară cercetări în domeniul pirolizei materialelor plastice uzate nereciclabile. Institutul de chimie macromoleculară „P. Poni" din Iași în colaborare cu Institutul de cercetări metalurgice ICEM-București au realizat, pînă la faza pilot, un procedeu cu numeroase aspecte originale și cu performanțe dintre cele mai înalte. Studiile care se desfășoară în prezent vor permite ca în viitorul apropiat să se stabilească condițiile concrete de aplicare a acestor importante realizări.

Cazul pirolizei produselor din cauciuc uzate — în special al anvelopelor nereșapabile, al căror volum atinge în prezent, în lume, ca și în țara noastră, valori din ce în ce mai ridicate — este perfect similar. Și aici, ca și în cazul materialelor plastice, macromoleculele-gigant ce constituie cauciucul natural sau artificial pot fi „rupte" la temperaturi și presiuni înalte, în prezența catalizatorilor, în „bucăți" mult mai mici. Acestea nu sînt altceva decît mult-doritele hidrocarburi necesare centralelor electrice și motoarelor noastre.

În sfîrșit, piroliza poate fi aplicată, dat fiind conținutul ridicat de materiale organice, chiar... reziduurilor „produse" de marile aglomerări urbane de astăzi. Această posibilitate surprinzătoare este conturată de cercetările desfășurate de către o echipă de specialiști de la Universitatea din Tübingen, R.F.G. Scopul studiilor întreprinse aici este de a obține țiței prin... piroliza nămolurilor de la instalațiile de epurare a apelor menajere.

Ca și în cazul reziduurilor urbane propriu-zise, cantitățile de ape menajere ce rezultă în marile orașe sînt în continuă creștere, instalațiile în care se efectuează epurarea lor necesitînd investiții și spații tot mai importante. Volumul nămolurilor ce se obțin în procesul de purificare a apei atinge deja cote impresionante. Numai în R.F.G., arată specialiștii, se produc anual în jur de 100 milioane t de șlamuri de acest fel. Uscarea și împrăștierea unor cantități atît de însemnate de nămol presupun un consum de combustibili clasici deosebit de ridicat. Pe de altă parte, folosirea reziduurilor de epurare ca îngrășămînt în agricultură nu este chiar atît de avantajoasă pe cît ar părea la prima vedere. Ecologii au stabilit că ele

conțin cantități mari de metale grele, deosebit de nocive pentru organismele vii și care se acumulează în cantități tot mai însemnate de-a lungul lanțului biologic la al cărui capăt se află omul.

Iată deci suficiente argumente care pledează în favoarea transformării nămolului rezultat la epurarea apelor menajere în țiței. Procedeul de „fabricație" nu este, în principiu, deosebit de complex. Masa de noroi biologic, ce a fost deja supusă fermentării, este introdusă într-un vas de piroliză. Aici, la o temperatură de 300°C, în absența aerului, dar în prezența unui catalizator pe bază de oxizi de siliciu și aluminiu dopat cu cupru, substanțele organice cuprinse în nămol sînt transformate în hidrocarburi. Procesul care a durat în natură aproximativ 40 de milioane de ani nu necesită în acest caz decît aproximativ o oră.

Produsul rezultat este un țiței brut, cu o putere calorifică ce reprezintă 85—90% din cea a „aurului negru" natural, precum și o anumită cantitate de cocs, perfect comparabil cu cărbunele brun. Randamentul de transformare a nămolului în petrol sintetic este de 20—28%.

Fapt deosebit de interesant, procedeul nu necesită un aport exterior de combustibili, ceva mai puțin de 30% din țițeiul nou format fiind suficient pentru a întreține piroliza. Pe această cale, au calculat autorii proiectului, s-ar putea obține deja anual peste 2 000 000 t de țiței sintetic numai în R.F.G. În perspectiva anilor următori, în aceeași țară s-ar putea atinge chiar 8—10 milioane tone anual. Hidrocarburile astfel obținute ar putea fi folosite drept combustibili sau ca materie primă în industria petrochimică.

O sursă de hidrocarburi la fel de importantă poate deveni, desigur, și cărbunele. Lui i se pot aplica cele două procedee ce promit să revoluționeze energetica viitorului: gazeificarea și lichefierea. În ce constau ele?

În teorie, procesul gazeificării cărbunelui este simplu. El constă din insuflarea în stratul de cărbune, prin intermediul unui simplu puț de foraj, a unui curent de aer. Acesta întreține arderea parțială, provocată artificial prin aprindere electrică sau chimică, a stratului de cărbune. Între agentul de gazeificare și cărbunele din zăcămînt are loc o reacție chimică ce conduce la formarea de

gaz combustibil. Acesta este captat prin intermediul unui al doilea puț de foraj. Prin menținerea unei viteze adecvate de ardere se asigură o circulație uniformă a gazelor: cărbunele gazeificat urcă spre suprafață împins de noile cantități de aer pompate în strat.

Avantajele sînt multiple. Gazeificarea *in situ* a cărbunelui înlătură dificilele și costisitoarele operații de extracție din subteran a acestuia. Ea plasează, sub aspect tehnologic, combustibilul solid care este cărbunele, pe treapta avantajoasă a carburanților fluizi cum sînt gazele sau lichidele. În sfîrșit, ea este o metodă de o mare suplețe, ce permite obținerea unor produse de gazeificare variate, funcție de dorințe și nevoi.

Compoziția gazului rezultat poate varia funcție de procedeul întrebuințat. Se poate livra beneficiarului, la alegere, un gaz sărac, indicat pentru ardere în termocentrale electrice, un amestec carburant de putere calorifică medie, cu o compoziție similară gazului de cocserie sau chiar gaz metan de puritate înaintată. În ultimele două variante, produsele de gazeificare nu sînt numai perfect adaptabile oricărei folosiri energetice industriale și menajere, ci și deosebit de ușor pretabile chimizării. Între gazul cu putere calorifică redusă și metanul pur este posibilă practic orice combinație intermediară cum ar fi, de exemplu, cea în care rezultă un gaz de sinteză conținînd oxid de carbon și hidrogen, adică baza de materii prime a întregii chimii organice cunoscute astăzi. Totul depinde în acest proces numai de agentul de gazeificare și de felul în care este condus regimul de ardere a zăcămîntului de cărbune.

Prima și cea mai simplă dintre posibilități este aceea de a face apel la aer ca agent de gazeificare. El este pus la dispoziție în cantități largi și gratuit de natură. La temperaturi ridicate oxigenul din aerul atmosferic se combină cu carbonul conținut de cărbunele din zăcămînt pentru a forma oxidul de carbon. Reacția se petrece în două etape:

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$
$$CO_2 + C \longrightarrow 2CO$$

Oxidul de carbon este el însuși un combustibil. Cum reacția dintre oxigen și carbon decurge cu o mare dega-

jare de căldură, procesul se autoîntreține. Pentru a ameliora bilanțul energetic al reacției se poate recurge, alături de aer, și la vaporii de apă, altă materie primă furnizată aproape gratuit de mediul înconjurător. În acest caz se produce o a doua reacție, aceea de reducere a apei: carbonul se combină cu oxigenul cuprins în molecula de apă și pune în libertate hidrogenul:

$$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2$$

Produsele acestei reacții sînt oxidul de carbon, care se adaugă celui obținut în urma arderii sub acțiunea oxigenului atmosferic, și hidrogenul care aduce prețioasele sale calități chimice și importanta sa putere calorifică. Desigur, amestecul oxid de carbon — hidrogen care rezultă, oricît va fi el de atractiv atît pentru energetică, cît și pentru petrochimie, nu este în mod neapărat necesar un produs finit. El poate fi transformat, după aducerea la suprafață, în prețiosul gaz metan. În instalații speciale, oxidul de carbon reacționează cu apa sub formă de vapori pentru a forma bioxid de carbon și hidrogen.

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$$

Hidrogenul în exces se combină cu oxidul de carbon pentru a forma metanul:

$$CO + 3\,H_2 \longrightarrow CH_4 + H_2O$$

În acest caz, procesul s-ar traduce prin transformarea cărbunelui în oxid de carbon, iar acesta din urmă în metan și în bioxid de carbon cu ajutorul vaporilor de apă.

Reacția poate fi condusă însă și spre formarea de alcool metilic, unul dintre compușii care se pretează nu numai arderii în motoare, ci și chimizării în vederea obținerii de polimeri, fibre sintetice, cauciuc, medicamente, coloranți etc.

$$CO + 2H_2 \longrightarrow CH_3{-}OH$$

Desigur, aceste procese chimice au loc pe seama arderii unei importante părți a carbonului conținut în zăcămînt. „Risipa" nu este însă prea mare dacă luăm în considerație faptul că în acest fel reacțiile chimice devin autonome din punct de vedere energetic, iar produșii de reacție ies singuri din „gazogenul" natural în care sînt preparați.

Există însă și un alt inconvenient. Folosirea aerului ca agent gazeificat ridică problema prezenței azotului care constituie 80 la sută din amestecul atmosferic insuflat în zăcămînt. Azotul nu participă la reacții. El se regăsește intact în oricare din amestecurile gazoase obținute, pe care le „diluează" în mod inutil, reducîndu-le substanțial puterea calorifică și reactivitatea chimică. Mai ales dacă se contează pe folosirea în sinteza organică a produselor de gazeificare este necesară fie îndepărtarea azotului — operație dificilă și costisitoare — fie folosirea ca agent gazeificant a oxigenului pur. Această din urmă soluție este testată în prezent de către Lawrence Livermore Laboratory pe un zăcămînt de cărbuni din Wyoming, S.U.A.

Ambele dezavantaje — pierderea unei părți din cărbunele din zăcămînt și prezența azotului în produsele de gazeificare — sînt atenuate (primul) sau eliminate (cel de al doilea) prin folosirea unui procedeu elaborat de specialiști din R.F. Germania și aflat în prezent în curs de experimentare. Este vorba despre gazeificarea subterană cu ajutorul hidrogenului. Acesta este injectat sub presiune în zăcămînt unde dă naștere metanului care urcă la suprafață:

$$C + 2H_2 \longrightarrow CH_4$$

O parte din cantitatea de metan formată este folosită la suprafață pentru reducerea apei în scopul obținerii de hidrogen

$$CH_4 + 2H_2O \longrightarrow CO_2 + 4H_2$$

Bilanțul ambelor reacții, cea de suprafață și cea *in situ*, se rezumă la conversia cărbunelui în gaz metan și bioxid de carbon cu un simplu consum de ... apă.

$$2C + 2H_2O \longrightarrow CH_4 + CO_2$$

Randamentul energetic și chimic al acestui proces este foarte ridicat, de aproximativ 60 la sută. El poate fi îmbunătățit în continuare dacă în locul unei părți importante din gazul metan obținut se folosește, în vederea trecerii apei în stare de vapori și menținerii unei temperaturi de reacție ridicate în instalațiile de la suprafață, căldura generată de o centrală nucleară.

Oricît ar părea de ciudat, ideea gazeificării zăcămintelor subterane de cărbune, care promite să devină una dintre tehnologiile energetice ale secolului XXI, a apărut încă în secolul al XIX-lea. Ea este legată de numele celebrului chimist rus Mendeleev, autorul clasificării elementelor chimice, care nota în anul 1888 următoarele: „Va veni o vreme cînd cărbunele nu va mai fi extras din sol. El va fi transformat chiar în pămînt în gaze combustibile, care vor fi conduse prin conducte la locul utilizării". Această descriere nu este altceva decît moderna soluție a gazeificării subterane.

Primele variante ale acestei metode au fost experimentate în U.R.S.S., începînd cu anul 1928. Ele constau în împărțirea stratului de cărbune în zone mici și în săparea unei galerii în mijlocul filonului. Se provoca apoi aprinderea unuia din capetele zonei selecționate și se culegea cu ajutorul unui puț forat în celălalt capăt gazul rezultat în urma combustiei. Metoda utilizată în prezent nu mai presupune coborîrea omului în subteran. Comunicația între cele două sonde de insuflare și captare este asigurată de porozitatea naturală a filonului de cărbune. În cazul în care aceasta nu este suficientă pentru propagarea combustiei se recurge la fracturarea stratului cu aer comprimat, apă sau chiar explozii de mici dimensiuni. În prezent funcționează în U.R.S.S. 5 instalații de acest tip, care produc anual o cantitate de aproximativ 1 500 milioane m^3 de gaz cu o putere calorifică medie. Cel mai însemnat dintre ele este situat deasupra unui zăcămînt important ce se întinde pe o suprafață de 150 km^2. La rîndul lor, specialiștii americani își continuă experiențele începute de mai multă vreme în zona carboniferă Hanna.

Concluziile la care au condus aceste încercări semiindustriale de gazeificare la mică adîncime — pînă în prezent nu s-a efectuat nici o probă la profunzimi mai mari de 300 m — sînt destul de îngrijorătoare. Gazeificarea la mică adîncime periclitează mediul înconjurător. Într-adevăr, dacă uzinele chimice de gazeificare construite special în aceste scopuri au o etanșeitate completă, periculoșii intermediari sau produși de reacție avînd șanse cvasinule de a scăpa în atmosferă, nu același lucru se poate spune despre „gazogenul" natural aflat în apropierea suprafeței pămîntului.

Nici un geolog nu poate garanta, oricît de amănunțite ar fi studiile preliminare asupra structurii scoarței, că nu vor exista infiltrații de gaze. Practica a arătat că în mod normal la gazeificarea de mică adîncime există pierderi de cel puțin 10 la sută. În cazuri deosebite, acestea pot ajunge la 20 sau chiar 30 la sută din gazele rezultate la ardere. Desigur, asemenea condiții nu sînt acceptabile nici în zonele semideșertice și cu atît mai puțin în cele dens populate unde se află zăcămintele de cărbuni. Mai ales apele freatice sînt afectate de pierderile de gaze toxice din straturile supuse combustiei. Există și pericolul invers: dacă apa freatică inundă stratul aprins, acesta se va stinge sau va produce doar bioxid de carbon, gaz fără nici o valoare combustibilă.

Lucrurile se schimbă însă complet la adîncimi mari, în apropierea sau dincolo de granița celor 1 000—1 200 m la care se consideră că se află și limita exploatării economice cu mijloace clasice a cărbunelui. Mai întîi, la asemenea adîncimi nu există apă freatică. Apoi, proprietățile rocilor aflate sub 1 000 m sînt cu totul deosebite: datorită presiunilor enorme la care sînt supuse, ele nu sînt rigide și casante, ci flexibile. Eventualele fisuri care ar apare totuși întîmplător ar avea tendința, datorită maleabilității șisturilor ce înconjoară eventualul filon carbonifer, să se reînchidă spontan, ceea ce ar asigura „gazogenului" natural o etanșeitate perfectă.

La acestea se adaugă și un fapt cu totul deosebit: în lume există zăcăminte foarte importante de cărbune aflate la adîncimi mari în scoarță, pe care abia studii geologice recente le-au pus în evidență. Un asemenea caz îl constituie acumulările considerabile de cărbuni din subsolul părții nordvestice a Europei. Conform unor ipoteze recente, aici s-ar găsi un zăcămînt ale cărui capete se află, la est, în bazinul Ruhr, în R. F. Germania, iar la vest, în regiunea Yorkshire, în Marea Britanie. El ar forma o pînză continuă de straturi carbonifere ce s-ar întinde la adîncimi de 1 000—5 000 m pe sub nord-vestul R.F.G., Olanda și Belgia, o parte a Mării Nordului și sud-estul Angliei.

Argumente în sprijinul acestei teorii le constituie ... zăcămintele de gaze naturale descoperite în Olanda și Marea Nordului. Într-adevăr, gazele naturale de la Gro-

ningen, Olanda, s-au dovedit a fi un metan pur, care pare să nu aibă nici o legătură cu pungile de petrol. El trebuie să se fi format, susțin geologii, în cadrul unui zăcămînt de cărbune aflat mult mai jos, la fel cum periculosul grizu (metanul) ia naștere în mine. Situația zăcămintelor de gaz metan din subsolul Mării Nordului e perfect similară, ele fiind cu totul izolate de acumulările de petrol aflate mult mai la nord.

Dar „gazul de mină" reprezintă numai 2 la sută din conținutul energetic al unui zăcămînt carbonifer. Pe de altă parte, dacă el scapă spre suprafață, mai puțin de 5 la sută din cantitățile ce se infiltrează au șansa de a se acumula într-o rocă-rezervor. Iată de ce numeroși specialiști sînt de părere că în nord-vestul Europei s-ar găsi, sub formă de cărbune, o comoară energetică de cel puțin 1 000 de ori mai mare decît importantele rezerve de gaz natural din Olanda și Marea Nordului. De altfel, geologii olandezi estimează că în subsolul țării lor s-ar găsi 1 200 miliarde de tone de cărbuni, din care marea majoritate la adîncimi de 1 500—3 000 m. La rîndul ei, R. F. Germania ar dispune de 200 miliarde de tone la adîncimi de pînă la 2 000 m și de 1 000 miliarde de tone în zona marilor adîncimi de pînă la 5 000 m.

Cum nu se va pune niciodată problema ca oamenii să coboare la asemenea adîncimi — cu atît mai puțin în subsolul marin — singura posibilitate de a aduce în circuitul economic masele de cărbune acumulate sub scoarța terestră în zonele menționate o constituie gazeificarea.

Este tocmai ce și-au propus specialiștii Institutului național al industriilor extractive din Belgia. Lucrînd la cote inferioare celei de — 1 000 m, afirmă ei, nu numai că se înlătură pericolul poluării prin infiltrații de gaze, ci se poate recurge la presiuni mari de lucru. Or, presiunea mărită este o garanție a creșterii randamentului reacției de gazeificare. Pe de altă parte, dintr-o problemă de minerit, tehnologiile devin de domeniul forajului. Datorită dezvoltării și perfecționării utilajelor de foraj petrolier nu există, practic, probleme tehnice care nu pot fi rezolvate într-un foarte scurt interval de timp.

Și un ultim amănunt. În vreme ce minele presupun investiții inițiale considerabile, necesare cu mult timp înainte ca prima tonă de cărbune să fie scoasă la suprafață

și care nu se amortizează decît după un timp îndelungat de la data intrării în funcțiune a exploatării — cel puțin 20 de ani — gazeificare nu necesită decît investiții mici, eșalonate în timp și recuperabile rapid. Forajele nu se execută decît pe măsura exploatării zăcămîntului, ele nu durează decît cîteva săptămîni sau luni, iar producția de gaze sintetice asigură o amortizare imediată a fondurilor investite.

Prima încercare de verificare practică a tuturor acestor aserțiuni teoretice a fost începută de specialiștii belgieni încă în cursul anului 1980. Ea se desfășoară în sudul țării, la vreo 20 km de localitatea Mous. Proiectul prevede nu numai gazeificarea unei porțiuni dintr-un filon carbonifer, ci și valorificarea energetică a gazelor obținute într-o centrală termoelectrică de mare randament.

Modul de funcționare a instalației, descris într-un recent articol de revista „Science et vie", este simplu. Aerul este insuflat la presiune ridicată — 300 de bari pentru o adîncime de 1 000 m — în stratul de bază al zăcămîntului prin intermediul unui puț de foraj. După ce a gazeificat prin ardere incompletă cărbunele din acest strat și s-a filtrat traversîndu-l, el este captat sub forma de „gaz sărac" cu ajutorul unei alte sonde. Aceasta este prevăzută cu un sistem de răcire cu apă, care recuperează prin producerea de vapori o parte din căldura pe care o au gazele. Ajunse la suprafață și avînd o presiune ridicată și o temperatură de 250—300°C, ele sînt spălate și apoi arse într-o cameră de combustie specială. Ele servesc astfel la producerea și supraîncălzirea vaporilor de apă ce sînt conduși la o turbină cu vapori, după care gazele arse însele, care au încă o presiune ridicată, pun în mișcare o a doua turbină, producînd energie electrică. În sfîrșit, gazeificarea stratului de bază al zăcămîntului antrenează o tasare a rocilor învecinate. În golul format se acumulează „gazul bogat" (grizu), care este recuperat cu ajutorul unei a treia sonde și poate fi distribuit la consumatori prin intermediul unei rețele de conducte.

Deși proiectul nu și-a propus să demonstreze decît fezabilitatea tehnologiei, el s-ar putea dovedi chiar rentabil din punct de vedere economic. Prețul kilovatului oră obținut într-o centrală pe bază de gaz sărac depinde de volumul de cărbune convertit de fiecare puț forat. Cu un

randament de 5 000 m^3 gaz obținut pentru fiecare foraj, centrala electrică ar putea concura deja cu termocentralele clasice ce funcționează cu cărbuni de mină. La un randament de 10 000 m^3 pentru fiecare foraj, prețul energiei electrice s-ar situa la nivelul celei produse prin arderea cărbunelui exploatat la zi.

În țara noastră a fost elaborat un program de cercetare privind gazeificarea subterană a cărbunilor inferiori care sînt ligniții. Studiile și cercetările de laborator pe modele și instalații efectuate pînă în prezent demonstrează posibilitățile gazeificării subterane a lignitului din țara noastră. Probele reprezentative de lignit din diferite zone ale țării, analizate în faza de laborator, pe modele și instalații prezintă calități și condiții favorabile gazeificării subterane.

Experimentările, efectuate în premieră tehnică la nivel național, confirmă și verifică rezultatele obținute în fazele de laborator, pe instalații și modele experimentale. Ele sînt în deplină concordanță, comparabile și competitive cu cele obținute pe plan mondial, demonstrînd că tehnologia de gazeificare prin sonde este posibilă în condițiile noastre de zăcămînt. Experimentările în faza-pilot au elucidat posibilitățile de aprindere a focarului, arderea în contracurent și în sensul curentului de alimentare, dirijarea frontului de ardere etc.

Rezultatele obținute demonstrează oportunitatea și necesitatea intensificării cercetărilor în acest domeniu. Lucrările de cercetare continuă cu studii fundamentale în laborator, modele și instalații, în paralel cu analiza posibilităților de valorificare imediată a produselor gazeificării (energetic și în industria chimică). Proiectul tehnologic al primului complex experimental industrial de gazeificare subterană din R. S. România prevede ca în 1990 dintr-o tonă de lignit gazeificat să se obțină circa 540 kwh energie electrică sau, pe cale chimică, cîte 200 kg amoniac; 200 kg alcool metilic; 150 m^3 gaz metan.

La rîndul ei, lichefierea cărbunelui sau tehnica industrială de transformare a acestuia în hidrocarburi lichide, în speță în benzine, a apărut cu mult înainte de penuria actuală de petrol, și anume în preajma primului război mondial, în țările dezvoltate care nu aveau zăcăminte proprii petrolifere, ca de exemplu Germania acelor ani.

Aici, în anul 1913 a fost brevetat de către chimistul Bergius, laureat al Premiului Nobel, procedeul de hidrogenare catalitică la presiuni înalte a cărbunilor pentru obținerea benzinei. Prin acest procedeu s-au produs mari cantități de benzină pornind de la lignit, huilă și chiar de la turbă.

Operațiunea constă în fixarea hidrogenului de carbon cu ajutorul presiunilor foarte înalte (de la 200 la 700 bari) și la temperaturi de peste 400°C, în prezența unui catalizator, precum și „spargerea" (cracarea) moleculelor grele. În procedeul lui Bergius se realiza un contact bun între hidrogen și carbon, catalizatorul utilizat era activ și de lungă durată, iar aparatajul rezista la coroziune, presiuni și temperaturi ridicate.

Aceste condiții erau îndeplinite datorită faptului că în prima etapă se efectua hidrogenarea cărbunelui fin măcinat, amestecat cu păcură sau gudron și cu un catalizator compus din sulfură de wolfram și molibden. Apoi produsul obținut a fost distilat, fracțiunea ușoară fiind cracată în prezența vaporilor de apă îmbogățiți cu hidrogen, obținîndu-se o benzină bogată în aromatice: benzen, toluen, xilen. Fracțiunea grea se reintroducea în circuit în prima fază a hidrogenării. Dintr-o tonă de cărbune, tratată cu 200 m^3 hidrogen gazos, rezultă 600 kg de benzină. Dar, datorită faptului că hidrogenul necesar se obține tot din cărbune sau hidrocarburi ușoare, prin procedeul Bergius erau necesare aproximativ 4 tone de cărbune pentru 1 tonă de benzină.

Dorința de a se valorifica în cea mai mare parte produsele obținute din tratarea cărbunelui au condus la descoperirea procedeului Fischer-Tropsch, unde se utilizează cocs, brichete de cărbune brun și gazul de apă. Acesta este un amestec gazos inodor, otrăvitor, compus din 50 la sută hidrogen, 40 la sută oxid de carbon, 5 la sută dioxid de carbon, azot etc. El este produs prin trecerea unui curent de vapori de apă peste cocsul sau brichetele încălzite la roșu. Reacția este următoarea:

$$C + H_2O \longrightarrow CO + H_2 - 31 \text{ kcal.}$$

După curățirea gazului de apă, amestecul de oxid de carbon și hidrogen este introdus în cuptorul de contact unde presiunea este relativ redusă, de la 7—12 atm., iar tem-

peratura de 200°C, în prezența unui catalizator care de data aceasta este cobaltul. Hidrocarburile obținute sînt un amestec de gazolină, benzină grea, motorină și parafină, care prin distilare fracționată și cracare (parțial și prin polimerizare) dau naștere la benzină superioară și alte subproduse prețioase ca de exemplu: uleiuri lubrifiante, uleiuri de motor, parafină.

Datorită sistemelor Bergius și Fischer-Tropsch, Germania reușise să realizeze în 1939 opt uzine de fabricare a benzinei sintetice din ligniți și huile. La începutul anului 1944 funcționau 18 uzine de sinteză a hidrocarburilor, care asigurau o producție de 5 milioane tone de carburanți și 700 000 tone de diferite uleiuri lubrifiante. După război, desigur, procedeele menționate au fost abandonate. Totuși, studiile privind obținerea de hidrocarburi prin hidrogenarea cărbunelui au continuat să-i preocupe pe specialiști. Ele se bucură astăzi de un interes deosebit.

Un procedeu îmbunătățit este cel imaginat de chimiștii Köbel și Engelhard din R. F. Germania. Materia primă este formată dintr-un gaz bogat în oxid de carbon (cum este gazul de furnal) și din vapori de apă. Reacția are loc la temperaturi variind de la 180 la 280°C, la o mică suprapresiune, în prezența unui catalizator (fier, rhodiu sau iridiu). Gazul se transformă integral în benzină, parafină și alte hidrocarburi după formula generală:

$$(3CO)_n + (H_2O)_n \longrightarrow (-CH_2-)_n + (2CO_2)_n$$

Produsele secundare sînt alcooli, aldehide și diferiți acizi. Gradul de valorificare este relativ favorabil: dintr-un metru cub de gaz (CO) rezultă 215 grame de hidrocarburi. Aproape 90% din materia primă — amestec volumetric format din trei părți oxid de carbon și o parte vapori de apă — se transformă în hidrocarburi parafinice și oxizi. Din aceste materiale, prin distilare și cracare, se produce benzina. Procedeul este mai economic datorită utilizării vaporilor de apă în locul gazului de apă.

În Statele Unite sînt de asemenea în curs cercetări și experimentări avansate în obținerea hidrocarburilor din cărbune. În procedeul COED (Charbon-Oil-Energy-Development) se convertește cărbunele în gaz și combustibil lichid printr-o piroliză în pat fluidizat. Cărbunele măcinat și uscat este încălzit într-o serie de reactoare cu pat fluidizat la temperaturi de 315, 455, 540 și 815°C. Numărul de trepte și alegerea temperaturilor depind de calitatea cărbunelui. Căldura de reacție este obținută prin arderea cocsului rezidual provenit din ultima treaptă. Fracțiunea lichidă este hidrogenată pentru a se obține țițeiul brut de sinteză.

Alt procedeu (Solvent Refined Coal) constă în dizolvarea cărbunelui într-un solvent aromatic, încălzirea amestecului sub presiune moderată, cu adaos de hidrogen, și distilarea fracționată a lichidului obținut, ceea ce permite recuperarea solventului și a reziduurilor solide care pot fi utilizate pentru a fi arse în centrale electrice. Importanța proiectelor americane — denumite în mod semnificativ „Independence" — pentru obținerea de hidrocarburi lichide și gazoase din alte surse decît cele clasice este ilustrat și de marele efort financiar alocat lor: cheltuielile planificate în acest scop vor depăși costul programului „Apollo" care a asigurat prima aselenizare a unui om și explorarea repetată de către echipaje umane a Lunii.

În prezent, singura instalație industrială de hidrogenare a cărbunelui funcționează în Republica Sudafricană, în localitatea Sasolburg. Complexul SASOL produce din cărbune hidrocarburi lichide de sinteză (din 1955) pentru a fi folosite drept combustibili — în prezent s-a ajuns la o producție de 1 000 000 tone anual —, precum și 300 000 tone amoniac (din 1974), 20 000 tone metanol pe an (din 1976) și 100 000 tone de policlorură de vinil pe an (din 1977). El demonstrează că obținerea petrolului de sinteză este nu numai posibilă, ci și că acest proces a revenit în actualitate.

Dar hidrocarburile nu sînt singurii combustibili pe care îi putem obține prin sinteză chimică. Din această cauză unii specialiști nu ezită să afirme că actuala criză energetică mondială nu ar trebui, în mod necesar, să existe. Departe de a constitui un simplu paradox, această afirmație este pe deplin justificată. Într-adevăr, combustibilul ideal, cu o putere calorifică de patru ori mai mare decît a petrolului, care este complet nepoluant, deoarece prin ardere nu produce decît... apă, abundă în jurul nostru.

Este vorba, evident, despre hidrogen, care se găsește în cantități practic inepuizabile în apa mărilor și oceanelor Terrei. Fapt extrem de interesant, marele profet al tehnicii, Jules Verne, a prezis cu aproape un secol în urmă

că supraviețuirea energetică a civilizației umane se va datora hidrogenului extras din apă.

Ori, în prezent, acest obiectiv și l-au propus și îl urmăresc cu asiduitate numeroase echipe de cercetători din mai multe țări ale lumii. Sarcina este însă departe de a fi ușoară. Aceasta deoarece în însăși forma de existență naturală a „minereului" de hidrogen, apa, se află și sursa principală a marilor dificultăți ce se opun soluționării acestei probleme de importanță vitală pentru omenire.

Într-adevăr, legătura ce unește cei doi atomi de hidrogen cu cel de oxigen pentru a forma molecula de apă este extrem de puternică, iar energia necesară ruperii ei extrem de mare. Iată de ce orice încercare de „cracare" a apei în elementele constitutive implică serioase impedimente.

Prima și cea mai simplă, mai logică, metodă de descompunere a apei, electroliza, are defectul major de a consuma mai multă energie decît cea cuprinsă în carburantul ce rezultă. Descompunerea termică prezintă același inconvenient. Ce rămîne deci de făcut în acest caz?

De ce nu s-ar recurge însă, s-au întrebat pe bună dreptate numeroși specialiști, la energia gratuită și inepuizabilă a Soarelui? El ar putea furniza, prin intermediul celulelor fotoelectrice, curentul necesar electrolizei apei. Soluția practică a acestei idei extrem de atractive este, din păcate, departe de a fi la înălțimea așteptărilor. Experiențe de laborator au demonstrat că, deși se pot obține unele cantități de hidrogen, investițiile sînt imense în raport cu randamentul instalațiilor.

O altă cale ar constitui-o copierea procesului de fotosinteză prin intermediul căreia plantele stochează energia solară sub forma unor compuși chimici — zaharurile —, sintetizați din apă și bioxid de carbon. Responsabilă pentru buna desfășurare a acestui proces natural al cărui mecanism este încă incomplet înțeles și cunoscut este o substanță complexă, cu rol extrem de important în viața plantelor: clorofila. Ea este cea care, datorită structurii sale deosebite, absoarbe energia radiațiilor luminoase și pune apoi în libertate doi electroni. Această pierdere este compensată de captarea altor doi electroni pe care îi cedează de data aceasta o moleculă de apă cuprinsă în celula vegetală. Prin aceasta se realizează formarea de oxigen gazos:

$$H_2O \longrightarrow 2H + 1/2\,O_2 + 2e.$$

Electronii puși în libertate de către clorofilă reduc apa și transformă doi protoni într-o moleculă de hidrogen:

$$2H_2O + 2e \qquad H_2 + 2OH.$$

În S.U.A. s-au făcut chiar încercări de a valorifica practic această reacție. La National Argonne Laboratory frunzele proaspete au fost transformate în pastă pentru a rupe învelișul cloroplastelor — acele vezicule ce cuprind clorofila (într-un gram de frunze de spanac, de exemplu, se află circa o jumătate de miliard de asemenea aglomerări de clorofilă). Prin centrifugare s-a separat apoi fracțiunea bogată în clorofilă. Ea a fost depusă, într-un strat foarte subțire, pe un film de material plastic și cufundată în apă. În prezența unei enzime — hidrogenaza — și sub acțiunea luminii solare, clorofila „recoltată" din frunze a produs un amestec de oxigen și hidrogen.

Acest gen de fotodescompunere a apei este însă și el destul de ineficient. Clorofila naturală se alterează rapid, iar înlocuirea ei presupune operații dificile sub aspect tehnic și costisitoare din punct de vedere economic. Singura soluție fezabilă pare să o constituie reproducerea fotolizei apei după mecanismul procesului natural, dar cu ajutorul unor catalizatori artificiali stabili, de mare eficiență.

Este tocmai ceea ce încearcă să realizeze mai multe echipe de specialiști care studiază în paralel fenomenul. Cel mai aproape de succes pare să fie profesorul elvețian Michael Graetzel de la Institutul Politehnic din Lausanne. Ca și alți cercetători, el utilizează ca substituent al clorofilei un complex al rutenului — metal rar, tranzițional, din grupa platinicelor — cu dipiridina. Acest complex, denumit sensibilizator, eliberează sub acțiunea luminii doi electroni. Din păcate, sensibilizatorul nu este capabil să cedeze electronii direct apei, ci o face prin intermediul unui acceptor, al unei substanțe de transfer — metil viologenul. Tocmai în acest proces de transfer de electroni se ivesc însă dificultățile. Reacția fiind de echilibru, se atinge un moment de „saturație" cînd fotoliza încetează.

Meritul prof. M. Graetzel constă tocmai în faptul că a reușit să deplaseze acest echilibru spre formarea de hidrogen și oxigen. Cum? Prin intervenția a doi catalizatori suplimentari. Primul, oxidul de ruteniu, favorizează trecerea a doi electroni de la molecula de apă la sensibilizator, cu degajarea oxigenului. Al doilea, platina coloidală, permite transferul celor doi electroni primiți de acceptor de la sensibilizatorul excitat de radiația luminoasă la o moleculă de apă cu formarea de hidrogen.

Care este importanța practică a acestei realizări a cunoașterii umane? Fără îndoială, ea deschide perspective extrem de interesante spre valorificarea energetică a „zăcămîntului" de hidrogen care este apa. Chiar dacă randamentul de transformare a energiei solare este încă foarte scăzut, de numai 3% (să notăm totuși că el este de pe acum superior valorii de 2% pe care o realizează plantele în cadrul procesului de fotosinteză), el poate fi ridicat mult în viitor. Prof. M. Graetzel apreciază că un randament de aproximativ 10% ar permite exploatarea industrială a procedeului. Într-adevăr, aceasta ar însemna 15 litri de hidrogen obținuți într-o zi dintr-un litru de apă răspîndit pe o suprafață de un metru pătrat. La o suprafață de apă de un hectar, „producția" de hidrogen ar fi de 150 000 l/zi, ceea ce echivalează cu un conținut energetic de 500 kWh, valoare deloc de neglijat.

Fapt extrem de interesant, o altă echipă de cercetători a ajuns, în mod independent, la o soluție foarte apropiată de cea descrisă mai sus. Este vorba despre grupul de specialiști de la Universitatea din Carolina de Nord, S.U.A., condusă de chimiștii austrieci Hertha și Gerhard Sprintschnik. Pentru a putea folosi energia solară ca mijloc de scindare a puternicei legături chimice oxigen-hidrogen, cercetătorii au încercat mai multe tipuri de catalizatori. O bună eficiență a dovedit o combinație chimică complexă, formată dintr-un metal și o substanță organică: ruteniul, din grupa platinicelor, și dipiridilul, un derivat al benzolului. Ruteniul însuși este considerat în prezent de specialiști ca unul dintre cei mai activi catalizatori. De curînd el a putut fi folosit, printre altele, la obținerea amoniacului din azot, o sinteză pentru care pînă nu de mult erau necesare temperaturi și presiuni extrem de ridicate. Combinația ruteniului cu dipiridilul este un complex metalic a cărui structură este asemănătoare cu cea a clorofilei.

Cum e decurs experiența soților Sprintschnik? Pe o plăcuță de sticlă a fost depus un strat monomolecular de catalizator. Cufundată într-un vas cu apă și supusă iradierii cu ajutorul unei lămpi cu vapori de mercur de 100 de wați, plăcuța de sticlă de dimensiunile unei foi de hîrtie format A-4 a determinat degajarea, într-un interval de 24 de ore, a 500 mm^3 de gaz detonat, un amestec de două părți hidrogen și o parte oxigen. Repetată în condițiile iradierii cu lumină solară, experiența a avut același succes.

Pînă în prezent hidrogenul obținut prin fotoliza catalitică este de ordinul microcantităților, încercările nedepășind stadiul experimental. Totuși oamenii de știință privesc cu mult optimism posibilitățile de transpunere la scară industrială a procedeului descoperit de ei. Într-adevăr, în zonele de intensă insolație ale Terrei ar putea fi amenajate adevărate fabrici de hidrogen. Apa freatică, pompată în baterii de bazine de fotoliză catalitică, ar fi descompusă în hidrogen și oxigen. Din gazul rezultat, colectat prin intermediul unei rețele de conducte, s-ar separa hidrogenul. Lichefiat, acesta ar fi transportat spre zonele industriale unde ar înlocui, ca sursă energetică, hidrocarburile sau cărbunii fosili. Nici costul ridicat al catalizatorului platinic — 1 kg de ruteniu valorează în prezent circa 2 000 de dolari — nu ar ridica probleme deosebite, deoarece complexul metal-dipiridil este folosit, pentru acoperirea suportului, într-un strat extrem de subțire: 1 kg de pulbere de ruteniu ar fi suficient pentru acoperirea unei suprafețe de 16 000 m^2.

3. Biocarburanți din plante

În rezolvarea dilemei „cu ce înlocuim petrolul?" oamenii de știință au pornit de la un calcul simplu: dacă combustibilii fosili s-au format prin reducerea lentă a materialului biologic — animal pentru petrol și gazele naturale și, respectiv, vegetal pentru cărbune, dar ambele avînd aceeași sursă primară, fotosinteza — de ce nu s-ar putea recurge și astăzi la acest proces? Să valorificăm, cu alte cuvinte, resursele energetice ale Soarelui prin intermediul fotosintezei?

De ce nu? Datorită fotosintezei plantele au reușit să facă ceea ce omul nu a izbutit pînă în prezent: să stocheze energia solară. Lumina soarelui — care nu este altceva decît energie radiantă — descompune în plante apa în oxigen, care este eliberat în atmosferă, și hidrogen. Acesta din urmă se combină cu dioxidul de carbon din aer pentru a forma zahăr, celuloză, proteine etc. — adică materialul vegetal din care este constituită planta. Dacă acest material este ars, are loc recuperarea energiei solare primare, eliberată de data aceasta sub formă de căldură.

O dată acest mecanism înțeles, folosirea — sau mai precis refolosirea, deoarece lemnul a constituit pînă acum două secole, de-a lungul milenarei civilizații umane, singura sursă energetică chimică a lumii — „cărbunelui verde" în acoperirea nevoilor de combustibili al Terrei devine o direcție firească de urmat. Studiului ei i s-au dedicat, printre mulți alții, și două prestigioase instituții de cercetare din S.U.A.: Institutul de cercetări Stanford și Administrația Națională pentru Aeronautică și Spațiu (NASA). Înseamnă arderea lemnului un regres economic? Nicidecum. Brazilia își acoperă aproximativ 25% din necesarul de energie (circa 130 milioane tone combustibil convențional/an) cu ajutorul lemnului. În fiecare an ea produce cam 2 milioane tone de oțel folosind ca agent energetic și de reducere cărbunele de lemn.

Se estimează că „producția" naturală de lemn se ridică în fiecare an la 7—8 miliarde tone, din care majoritatea — 4 pînă la 5 miliarde de tone — se pierde prin putrezire. Mai mult, prin putrezire rezultă și unele substanțe nocive ca oxidul și dioxidul de carbon, compuși ai azotului și sulfului, în cantități de 10—30 de ori mai mari decît cele produse în urma activității industriale a omului.

Pentru ca energia solară pe care o primește gratuit Pămîntul sub formă de radiații să poată fi valorificată cît mai bine este necesar ca plantele să crească repede, producînd într-un timp cît mai scurt o masă cît mai mare de biomaterial. Problema energetică devine o problemă agricolă sau silvică. Or, în acest domeniu există o experiență multimilenară.

Printre cele mai interesante specii producătoare de celuloză se numără eucaliptul. El este arborele care deține recordul de viteză în creștere. Mai mult, odată tăiat el

crește din nou din propriile rădăcini, deci după recoltare nu ar mai fi nevoie de replantarea puieților, operație costisitoare și de durată. Pe de altă parte, trunchiul eucaliptului este extrem de bogat în celuloză, iar specia este foarte rezistentă la boli sau insecte.

„Specia" eucaliptului este de fapt un nume generic pentru mai bine de 500 de subspecii diferite, care sînt răspîndite în aproape 50 de țări de pe cele mai îndepărtate meridiane ale globului. Unele dintre aceste specii preferă climatul cald și umed al tropicelor, altele clima aridă a zonelor din vecinătatea deșerturilor. Varietatea „Globus" crește la altitudini de 3 000 m, pe versanții Munților Anzi sau Himalaia, în timp ce „Eucalyptus Regnans" stabilește recorduri de înălțime — circa 100 m — în umeda și calda Tasmanie. Iată motivele pentru care unele țări se gîndesc foarte serios să-și acopere în viitor o parte din nevoile de combustibili prin culturi forestiere de eucalipți. „Recolta energetică" de lemn de foc ar putea fi strînsă la fiecare 10—15 ani.

O altă direcție interesantă ar putea-o constitui algele. Terenul lor de cultură l-ar reprezenta apele mărilor și oceanelor sau ale lacurilor cu apă dulce. Primele reprezintă trei sferturi din suprafața Terrei și, deocamdată, nu produc nimic. De ce să nu folosim aceste imense suprafețe pentru culturi energetice? Mai ales că unele alge unicelulare ating viteze de creștere inimaginabile în lumea arborilor gigantici. Randamentele de materie uscată la litrul de apă sînt deocamdată însă destul de reduse — 0,3 pînă la 1 g/l pentru cele mai productive specii de alge. Recoltarea și uscarea lor ar ridica, de asemenea, numeroase probleme. Iată de ce specialiștii consideră că algele vor deveni mai curînd o prețioasă sursă de proteine pentru combaterea subalimentației decît o rezervă energetică.

Între arborele secular și alga microscopică nu există oare alte plante care să corespundă doleanțelor noastre, adică să poată fi cultivate în mod avantajos pentru capacitatea lor energetică? Fapt extrem de interesant, unele plante alimentare au reținut atenția specialiștilor și sub aspect energetic. Porumbul, de exemplu, are un randament interesant de biomasă și este o cultură ușor de întreținut. La rîndul său, trestia de zahăr produce o canti-

tate însemnată de tulpini, este o specie repede crescătoare și nu necesită replantări după recoltare deoarece crește din proprii ei rizomi. În agrotehnica clasică a trestiei de zahăr, după extragerea acestuia, o parte a deșeurilor fibroase ale tulpinilor sînt folosite drept... combustibil pentru concentrarea melasei. De ce nu ar servi ele, în viitor la producerea de abur și electricitate în termocentrale?

Un alt candidat serios la titlul de plantă energetică este floarea soarelui. Randamentul de folosire a energiei solare este în cazul ei foarte bun, iar în anumite condiții se pot obține două sau chiar trei recolte pe an. Agronomii se preocupă în prezent de obținerea de soiuri noi, în care nu numai cantitatea de ulei din semințe să fie sporită, ci și masa verde rezultată, adică posibilul combustibil de ars în centrale. Cercetătorii din S.U.A. și U.R.S.S. au comunicat rezultate interesante pe această linie.

Există însă deja și culturi pur energetice. Una dintre cele mai avantajoase pare să fie cea a sorgului. Recoltarea sa poate fi făcută cel puțin de trei ori pe an, indiferent de perioadă, ceea ce înseamnă nu numai o mare cantitate de biomasă la hectar, ci și posibilitatea de a eșalona recoltările în timp pentru a utiliza cît mai rațional mașinile. Ca și în cazul altor plante energetice, sorgul crește, după tăiere, din propriile rădăcini, astfel că un cîmp odată însămînțat poate fi exploatat mai mulți ani; singura măsură de prevedere necesară este ca solul să nu fie secătuit printr-o monocultură prea îndelungată, fapt ușor de evitat prin asolamentul trienal, adică prin rotirea culturilor odată la trei ani.

Pentru a mări cantitatea de materie verde recoltată a fost găsită chiar o stratagemă biologică. Se știe că plantele nu cresc decît pînă în momentul înfloririi. La sorg acest moment depinde de lungimea nopții: cînd ziua depășește 12 ore apar florile, iar creșterea încetează. Planta a putut fi însă înșelată. Plantînd în mod convenabil sorgul, în regiunile temperate, se depășește echinoxul de primăvară, iar perioada de creștere durează pînă toamna, mult după timpul normal de înflorire.

Alături de sorg, o altă plantă înrudită cu bumbacul, *Hibiscus Cannabinus*, cunoscută în special pentru fibrele pe care le produce, pare să atragă și ea atenția partizanilor „petrolului verde". Ea este formată în proporție de mai bine de 50% din greutatea proprie din celuloză.

Nu numai plante speciale pot deveni culturi energetice. Trestia, stuful, unii arbuști repede crescători se pot dovedi, în anumite condiții, foarte avantajoase sub aspect economic. Este tocmai ceea ce încearcă să stabilească specialiștii din nordica Suedie. În această țară greu tributară importurilor de petrol a fost începută în anul 1978 o experiență interesantă. Pe 30 de hectare aparținînd Institutului de cercetări agricole din Bogesond, în apropiere de Stockholm, au fost cultivate diferite varietăți de plante pentru a li se studia viteza de creștere, randamentul în masă uscată, rezistența la boli, paraziți și la exigențele climatului suedez. Cele mai interesante au fost selecționate și cultivate pe suprafețe din ce în ce mai mari: 100 de hectare în 1979, 300 hectare în 1980 și 10 000 în 1986. Obiectivul final al primei părți din acest interesant program este atingerea unei suprafețe agro-energetice de 100 000 hectare în 1990. În caz de succes economic, planurile pentru etapa a doua sînt grandioase.

Desigur, nu se pune problema afectării unor suprafețe întinse, destinate în prezent agriculturii, pentru a obține material lemnos pentru ars. Față de nevoile de hrană neacoperite ale omenirii ar fi un lux prea mare. Dar pe Terra există numeroase zone ce nu sînt propice agriculturii — mlaștini, terenuri accidentate sau muntoase, zone aride. Ele ar putea deveni, cu timpul, pe măsura adîncirii studiilor privind rentabilitatea unor asemenea măsuri, surse de „combustibil verde". La rîndul lor, „deșeurile" din agricultură — coceni, paie, coji, pleavă etc. pot deveni interesante resurse energetice, dat fiind că pe măsura creșterii producției agricole disponibilul de asemenea „materii prime" va crește și el.

Pe de altă parte, printre cele mai serioase elemente ale studiilor privind rentabilitatea culturilor energetice se numără și condițiile în care se obține cel mai avantajos randament termic. Conform ultimelor cercetări se pare că arderea „în pat fluidizat" — materialul lemnos este uscat, transformat în pulbere, amestecat cu aer și ars în camere speciale — prezintă avantaje deosebite. Arzătoare de acest tip au randamente foarte ridicate în centrale termoelectrice și pot fi folosite chiar la propulsia vehiculelor

(locomotive, camioane grele etc.), deoarece amestecul aer-pulbere lemnoasă se comportă ca un fluid capabil să circule prin conducte. Puterea calorifică a pulberii celulozice uscate poate fi însă mărită și prin intermediul unor tratamente chimice adecvate, fapt ce conferă „cărbunelui verde" un nou plus de atractivitate.

Arderea directă a plantelor nu este însă singurul mijloc de a recupera energia solară înmagazinată în ele. Se știe demult că prin fermentarea sub acțiunea unor bacterii, în absența oxigenului din aerul atmosferic, a rămășițelor plantelor se formează gazul metan. De ce nu ar putea fi folosită la scară industrială convertirea biologică a materialului organic brut, compus din carbon, hidrogen și oxigen, dar și din azot și chiar sulf, în hidrocarburi ca metanul (CH_4)?

Obținerea biogazului din dejecțiile animale rezultate în marile combinate zootehnice sau chiar în fermele mici a devenit, în ultimii ani, o metodă curentă de valorificare a reziduurilor și de îmbunătățire a bilanțului energetic în agricultură. Extinderea acestei metode este însă posibilă și asupra reziduurilor vegetale. Într-adevăr, experiențe efectuate în țări ca S.U.A. și Franța au arătat că deșeurile agricole supuse fermentării anaerobe dau naștere unui gaz combustibil format în proporție de 55—60% din metan și 45—50% dioxid de carbon, azot și derivați ai sulfului.

Tehnica de producere a biogazului vegetal este simplă. Nu sînt necesare decît cîteva baterii de cuve etanșe de oțel sau beton și un sistem de epurare pentru îndepărtarea compușilor corozivi ai azotului și sulfului. Colectat, gazul rezultat din fermentarea vegetalelor — deșeuri agricole sau biomasă cultivată special în acest scop — poate servi la obținerea energiei electrice și a aburului termic în centrale speciale. Specialiștii au calculat că valorificînd pe această cale numai deșeurile agricole rezultate într-un an în S.U.A., s-ar putea asigura funcționarea a 130 de centrale electrice de 1 000 megawați fiecare sau s-ar putea acoperi 30% din consumul de gaze naturale al țării. NASA apreciază că în 1990 se va putea asigura deja, prin extinderea fermentării vegetalelor, a dejecțiilor animale, și chiar a reziduurilor organice din marile aglomerări urbane, aproximativ 5% din nevoile energetice ale S.U.A. În 1995 acest procent ar putea fi chiar de 10%. Pentru a satisface întreg necesarul de energie al S.U.A. calculat pentru anul 2020 nu ar fi nevoie decît să se cultive, cu un randament de folosire a radiației solare de numai 2%, aproximativ 5% din suprafața acestei țări cu vegetale destinate producerii de biogaz. Terenurile „blocate" cu asemenea culturi energetice ar echivala cu suprafața afectată în prezent depozitării reziduurilor urbane.

Biogazul vegetal — sau, să luăm din nou în considerare aceste posibilități, rezultat din fermentarea dejecțiilor animale și a deșeurilor urbane organice — ar putea fi valorificat nu numai ca agent energetic în termocentrale, ci ar putea fi utilizat prin intermediul unor rețele de distribuție în locuințe, înlocuind prețioasele gaze naturale fosile, mult mai avantajos de chimizat decît de ars în bucătării.

În sfîrșit, biogazul ar putea fi utilizat și ca un prețios combustibil în motoarele autovehiculelor. În stare brută el are o putere calorifică de circa 6 000 kcalorii/m^3. Prin îndepărtarea dioxidului de carbon, puterea sa calorifică ajunge la 9 000 kcalorii/m^3. Calitățile biogazului nu se opresc însă aici. Rezistența sa la detonație sau, cu alte cuvinte, cifra octanică, este extrem de ridicată.

În asemenea condiții el devine un substitut ideal al benzinei sau chiar al motorinei. În prezent circulă deja, numai în Franța, 30 000 de automobile acționate de gaze naturale a căror compoziție este perfect similară cu cea a biogazului purificat. Cercetătorii francezi sînt de părere că prin prepararea de biogaz din paiele rezultate de pe numai un hectar cultivat cu cereale s-ar putea obține 200 m^3 combustibili gazoși, care ar înlocui cu succes 200 de litri de combustibil lichid clasic.

Biogazul nu este însă singurul produs obținut prin fermentarea vegetalelor. Reziduurile organice ce rezultă sînt un minunat îngrășămînt pentru terenurile agricole. Cum însă fermentarea îndepărtează materiile nocive, iar resturile vegetale sînt compuse în mare majoritate din proteine, subprodusele preparării biogazului pot servi și ca furaje pentru animale. În condițiile creșterii continue a necesarului de hrană al omenirii, ambele variante sînt extrem de avantajoase.

La fel de avantajoasă ca fermentarea s-ar putea dovedi a fi și piroliza materialului organic din vegetale. Materia primă constituită de biomasa vegetală sau chiar din gunoaiele organice ale orașelor poate fi transformată direct în petrol prin încălzire, în absența aerului, la temperaturi de 900°C și presiune normală. Prin procedeele elaborate deja în S.U.A. se pot obține, dintr-o tonă de material organic, 300 litri de hidrocarburi. NASA este de părere că petrolul sintetic fabricat pe această cale ar fi competitiv sub aspectul prețului cu cel natural, în condițiile în care capacitatea de prelucrare a uzinei ar depăși 2 000 tone materie organică pe zi. Planul de perspectivă elaborat luînd drept bază de calcul aceste cifre poate fi considerat, pe bună dreptate, ca fascinant.

Alături de metodele experimentate și verificate deja, NASA propune și soluții noi de valorificare indirectă a energiei solare acumulată în plante. Prin reducerea chimică a vegetalelor, de exemplu, se poate obține un ulei greu, perfect asemănător celui fosil. Reacția decurge, conform schițelor tehnologice elaborate, la o temperatură de 300—350°C și la o presiune ridicată, în prezența vaporilor de apă, a oxidului de carbon și a unui catalizator adecvat. Oxigenul conținut în plante este extras de oxidul de carbon care se transformă în dioxid de carbon. Ia naștere un amestec de hidrocarburi și alți compuși organici, utilizabil direct, după separarea apei, drept combustibil. Randamentul este foarte favorabil: 40% din greutatea masei vegetale este transformată în petrol. Dacă pentru motive economice se lucrează la presiune joasă, alături de hidrocarburile lichide rezultă și un reziduu solid. El nu este altceva decît un excelent cocs, „pîinea furnalelor" metalurgice.

La fel de interesantă ca valorificarea termoelectrică a plantelor pare însă să fie, în perspectivă, extragerea unor substanțe conținute în ele, cum ar fi, de exemplu, glucoza sau zaharoza, și utilizarea acestora în pile electrice de combustie. Aceasta este ideea unui cercetător de la laboratorul de electrochimie organică al Universității din Liege, Ivan Gillet. Soluția este încă relativ departe de transpunerea la scară industrială. Deocamdată mecanismul oxidării electrochimice a glucozei este prea puțin cunoscut. Totuși experiențele de laborator efectuate pînă

în prezent au demonstrat că cele două zaharuri pot furniza curenți electrici la potențiale suficient de mari pentru a constitui pile cu randamente interesante.

Un alt biocarburant posibil este alcoolul etilic. Acesta este fabricat prin hidroliza chimică sau enzimatică a materialelor vegetale — paie, lemn, cereale, plante zaharoase etc. — hidroliză urmată de fermentare și distilare. Etanolul prezintă marele avantaj de a putea fi utilizat direct drept combustibil fie pur, fie în amestec cu benzina. Această din urmă soluție mai ales este extrem de atractivă, deoarece nu impune modificări constructive ale motoarelor autovehiculelor și permite reducerea drastică a aditivării cu tetraetil de plumb a benzinei, un poluant din ce în ce mai încriminat.

În prezent se încearcă producerea de etanol combustibil pornind de la culturi vegetale specifice. Mare producător de trestie de zahăr, Brazilia este prima țară care a adoptat, încă din 1975, un plan de înlocuire a carburanților petrolieri cu alcoolul etilic. El prevede, în primă fază, o pondere de 20 la sută a alcoolului etilic în amestecurile carburante utilizate. Apoi alcoolul va înlocui complet benzina în propulsia automobilelor. În sfîrșit, către anul 2000, etanolul va deține o cotă de 75 la sută în balanța combustibililor lichizi folosiți în cele mai diferite domenii.

Problema centrală a programului brazilian o reprezintă opțiunea pentru cele două „culturi energetice" posibile: trestia de zahăr sau maniocul. Desigur, trestia de zahăr are o lungă istorie în statul sud-american. În prezent, covîrșitoarea majoritate a distileriilor folosesc această materie primă. Dar trestia de zahăr are nevoie de soluri de cea mai bună calitate și nu permite decît o singură recoltă pe an, în timp ce maniocul face posibilă recoltarea în tot cursul anului. Mai mult, această plantă se adaptează foarte bine în condițiile terenurilor aride, puțin cultivate în prezent. Randamentele la hectar sînt de 50—60 tone pe an pentru manioc. Conform studiilor agronomilor brazilieni, recolte de 40 tone de manioc obținute pe soluri sărace vor putea fi în curînd ceva obișnuit. În ceea ce privește randamentul de conversie al biomasei în alcool, acesta este net în favoarea maniocului: 170 de litri dintr-o tonă de manioc față de 70 litri/tonă pentru trestia de zahăr.

Indiferent de „cultura energetică" adoptată, către anul 2000 se presupune că acestea vor ocupa jumătate din suprafața agricolă a Braziliei. Brazilia nu este însă singura țară care se preocupă de o asemenea problemă. În Australia, de exemplu, se studiază producerea de etanol pe baza culturilor de eucalipți, în vederea acoperirii a circa 50 la sută din nevoile de petrol ale țării pînă în anul 2000.

Înlocuirea benzinei sau a unei părți a acesteia printr-un bioalcool reprezintă, fără îndoială, o economie însemnată. De ce nu s-ar înlocui însă carburanții fosili prin „biohidrocarburi"? Această sugestie a fost făcută recent de profesorul Melvin Calvin de la Universitatea din California, laureat al Premiului Nobel pentru chimie, care a subliniat că numeroase plante, în special euphorbiaceele, secretă un latex ce conține hidrocarburi cu greutăți moleculare și compoziție apropiate de cele ale țițeiului.

Euphorbiaceele se întîlnesc în mod obișnuit în zonele intertropicale. În cultură cresc repede, nu necesită decît soluri sărace și se poate estima obținerea unor recolte bogate în fiecare an. Ele prezintă însă și numeroase semne de întrebare. Astfel nu se cunoaște felul în care ar reacționa plantele după tăieri repetate în vederea recoltării latexului. Mai rămîne de asemenea de stabilit cu precizie compoziția chimică a latexului, fără a mai vorbi despre studiile tehnologice necesare în vederea construirii și exploatării instalațiilor de cracare pe bază de hidrocarburi vegetale. Iată de ce specialiștii stabilesc momentul intrării euphorbiaceelor în circuitul energetic cel mai devreme peste 15—20 de ani.

Cea mai seducătoare idee de folosire a plantelor în scopuri energetice este însă obținerea directă a hidrogenului din apă cu ajutorul procesului de fotosinteză. În plante, în cursul procesului de fotosinteză, oxigenul și hidrogenul din apă sînt disociați nu sub influența curentului electric, ci datorită acțiunii luminii solare asupra unui compus organic — clorofila. Energia luminoasă modifică, se pare, comportamentul apei, influențînd în mod special concentrația ionilor de hidrogen și oxidril. Dar, lucru extrem de surprinzător și, în același timp, de avantajos, radiația solară modifică în mod diferențiat conținutul celor doi ioni. Sarcinile negative se acumulează în cantități mai mari, astfel încît apare, în interiorul unei celule verzi, o

diferență de potențial de 0,3 volți. Din punct de vedere termodinamic se creează posibilitatea transformării, fără nici un alt aport energetic exterior în afara luminii solare, a ionilor de hidrogen în molecule gazoase.

Fotodescompunerea apei are loc de altfel în natură, în unele plante, în prezența unei enzime — hidrogenaza. Dacă ea nu este sintetizată de planta respectivă, nimic nu ne împiedică să o adăugăm. Ia naștere astfel un procedeu derivat din fotosinteză, în care în loc să fixeze carbonul din dioxidul de carbon atmosferic, planta produce hidrogen prin descompunerea apei cu ajutorul luminii Soarelui. Pe baza acestei scheme teoretice se poate imagina un procedeu practic de obținere a supercombustibilului hidrogen.

În vasul de cultură transparent se introduce un organism capabil de fotosinteză — cel mai avantajos ar fi, desigur, o algă — un compus care se comportă ca un donor-acceptor de electroni — cel mai indicat pare să fie, pînă la ora actuală ferrodoxina —, un convertizor de ioni de hidrogen — hidrogenaza — și, desigur, apă. O astfel de instalație ar putea furniza gratuit hidrogenul extras din apa atît de răspîndită pe Pămînt. Materializarea acestei idei tehnice nu este încă, din păcate, prea apropiată.

În țara noastră au fost elaborate programe de cercetare științifică pe o perioadă mai îndelungată de timp, aflate în curs de desfășurare în diferite instituții de cercetare și învățămînt superior, cu deosebire la Institutul de Energetică Chimică și Biochimică — ICECHIM, în cadrul cărora se urmărește obținerea de combustibili din plante prin intermediul diferitelor procedee de valorificare a biomasei vegetale.

4. Surse electrochimice și fotocaptatori neconvenționali

Criza energetică nu se manifestă doar la scară macroscopică, în centralele și rețelele electrice ale diferitelor țări ale lumii, ci și în cazul micilor și marilor consumatori de combustibili fosili, dintre care cel mai îndrăgit este automobilul. Va supraviețui el oare în contextul ascuțirii penuriei de hidrocarburi? Dacă nu, cu ce îl vom înlocui?

Viitorul aparține automobilului electric, susțin numeroși specialiști. El ar fi, argumentează aceștia, un vehicul nepoluant și, mai ales, nu ar consuma tot mai rarele și mai costisitoarele hidrocarburi fosile din petrol.

Din păcate, viitorul acestui nou și ideal mijloc de locomoție părea destul de îndepărtat. Nu pentru că înlocuirea motorului cu benzină prin cel electric nu ar fi fost tot mai acut necesară, ci deoarece acest lucru era împiedicat de numeroase deficiențe, dintre care, la loc de frunte, se situau greutatea mare a acumulatoarelor clasice și puterea lor redusă, ceea ce conducea la o autonomie scăzută a automobilului. Astfel, principalele tipuri de automobile electrice puse la punct în ultimii ani de firme reputate aveau următoarele caracteristici: Chrysler și General Electric — baterii pe bază de plumb și acid sulfuric în greutate de 490 kg confereau unui automobil de 5 locuri o autonomie de deplasare de 120 km la o viteză de 90 km/oră; Gulf-Western — 544 kg de acumulatoare pe bază de zinc asigurau o deplasare de 200 km cu aceeași viteză; General Motors — un set de baterii nichel-zinc, în greutate totală de 380 kg, permitea parcurgerea unei distanțe de 120 km cu viteza de 90 km/oră și 5 persoane la bord.

Fără îndoială, cu asemenea „performanțe" modeste, automobilul electric nu avea nici o șansă să cîștige competiția cu bătrînele motoare Otto sau Diesel. Cercetări de ultimă oră referitoare la noi tipuri de baterii și acumulatoare neconvenționale, despre care relatează revistele „Science et vie" și „La Recherche", par să apropie însă substanțial momentul intrării în exploatarea de masă a multdoritului automobil electric.

Este vorba, în primul rînd, despre noul tip de pilă electrică pe bază de aluminiu și aer pus la punct de specialiștii de la Lawrence Livermore National Laboratory din California, S.U.A. Ea este formată dintr-un anod de aluminiu cu dimensiunile de $400 \times 250 \times 12$ mm și un catod poros din cărbune și teflon impregnat cu un catalizator specific. Între acești doi electrozi circulă aer și un electrolit lichid, care nu este altceva decît o soluție concentrată de hidroxid de sodiu în apă. Reacția chimică ce are loc în acumulator este următoarea:

$$Al + 3/2H_2O + NaOH + 3/4O_2 \longrightarrow NaAl(OH)_4$$

În afară de electroni, din proces nu rezultă decît aluminatul de sodiu, care se acumulează într-un cristalizator. La fiecare 500 km, cînd se înlocuiește apa consumată, aluminatul de sodiu este colectat și trimis spre fabricile de aluminiu pentru care el este o materie primă prețioasă.

Proiectul specialiștilor americani prevede amplasarea la bordul unui automobil mediu, pentru 5 persoane, a 60 de asemenea elemente. Ele ar cîntări numai 240 kg și ar asigura, funcție de grosimea plăcilor de aluminiu, o autonomie de 1 600—4 800 km la o viteză de 90 km/oră. Operația de înlocuire a plăcilor consumate nu ar dura decît 15—30 de minute, ceea ce, față de timpul necesar reîncărcării acumulatoarelor clasice, care este de ordinul orelor, constituie, desigur, un avantaj enorm.

Rămîne de examinat doar economicitatea acestui nou mod de propulsie, în comparație cu automobilul clasic cu benzină. Calculele energetice arată că, pentru vehicule cu aceeași sarcină utilă, ce se deplasează cu viteză medie de 90 km/oră, consumul de aluminiu este de 5 kg la 100 km, în timp ce consumul de benzină se situează în jurul valorii de 10 l/100 km. Or, în condițiile actuale de prețuri, acumulatorul cu aluminiu este de pe acum aproape sau chiar a depășit limita competitivității față de benzină. Dar cum aluminiul consumat se reciclează integral, de nenumărate ori, prin recuperarea aluminatului de sodiu rezultat, în vreme ce benzina arsă este definitiv pierdută, și cum prețul acesteia din urmă cunoaște în întreaga lume creșteri galopante, se întrevede clar în ce direcție se va înclina în viitor balanța. Să mai notăm că dacă rezervele de aluminiu conținute în aluminosilicați — materie primă neconvențională, care este deja în pragul valorificării industriale — sînt, practic, nelimitate, resursele de petrol ale Terrei se apropie tot mai mult de epuizare.

O altă direcție în care se îndreaptă cercetările menite să pună la dispoziția omului zilelor noastre un automobil electric eficace și economic o constituie bateriile cu electroliți solizi, așa-numiții „superconductori ionici". Acești compuși au proprietatea interesantă de a permite, în cadrul unei structuri cristaline solide, difuzia rapidă unor ioni cu sarcină electrică pozitivă — sodiu, litiu, argint, potasiu, hidrogen, amoniu etc. — sau negativă — oxigen,

fluor, clor, iod etc. În acest fel, asemenea substanțe solide prezintă o conductibilitate electrică perfect comparabilă ca valoare cu cea a unui electrolit lichid obișnuit cum este, de exemplu, soluția de acid sulfuric.

Făcînd apel la electroliții solizi și la anozi și catozi lichizi, specialiștii au pus la punct noi tipuri de acumulatoare, dintre care cel mai cunoscut este cel pe bază de alumină, sodiu și sulf, elaborat în S.U.A. și Franța. Cum funcționează o asemenea baterie neconvențională? Într-un container metalic, cu lungimea de circa un metru, se amplasează electrolitul solid, alumina, sau, altfel spus, forma cristalină a oxidului de aluminiu obținută între 1 500 și 1 800°C. El se prezintă sub forma unui cilindru închis la un singur capăt, cu lungimea de 80 cm, diametrul de 6 cm și o grosime a pereților de cîțiva milimetri. În partea superioară a celulei se introduce sodiu lichid, iar în cea inferioară polisulfură de sodiu topită (temperatura de lucru din interiorul celulei este de 350°C). Cei doi electrozi lichizi scaldă cele două fețe, interioară și exterioară, ale electrolitului solid. Procesul chimic care are loc este următorul:

$$xNa + yS \underset{\text{încărcare}}{\overset{\text{descărcare}}{\rightleftharpoons}} Na_xS_y$$

O asemenea baterie furnizează o tensiune de 2 V. La o densitate de curent de 500 mA/cm², capacitatea fiecărei celule este de 160 amperi-oră, adică de aproximativ 10 ori mai mare decît a unui acumulator clasic cu plumb. Iată de ce, date fiind și greutatea și volumul lor reduse, baterii de acest fel pot servi cu ușurință ca stații de stocare a energiei electrice — în S.U.A. există chiar un proiect pentru realizarea, în anul 1990, din cîteva mii de asemenea acumulatoare, a unei stații de 5 MW/h — sau, de ce nu, la propulsia eficace a automobilului electric la mari distanțe.

Alumina este însă departe de a fi singurul electrolit solid aflat în „probe tehnologice". Extrem de promițătoare pare să fie o baterie pe bază de fibre de sticlă cu conținut de borat de sodiu. Pentru o capacitate de 40 Ah este necesar un pachet cuprinzînd circa 13 000 de fibre cu diametrul de 70 microni și o lungime de 10 cm fiecare. Această structură este, evident, mult mai ușor de obținut și totodată mult mai rezistentă în exploatare decît fragilul cilindru de alumină. Cum însă nu numai ionul de sodiu este capabil să se deplaseze printr-o rețea cristalină rigidă, se conturează deja și alte tipuri de electroliți solizi pentru acumulatoare de mare putere. Este vorba, de exemplu, despre azotura de litiu sau despre un polimer ionic al litiului format din sulfocianură de litiu și polietilen-oxidul, care promit o mare eficiență în funcționare. La rîndul lor, ionul de hidrogen sau cel de amoniu au și o mare mobilitate. Se cunosc deja numeroase conductoare protonice, cum ar fi fosfații de uranil hidratați, poliacizii de molibden sau de tungsten și chiar anumite tipuri de argile.

În orice caz, bateriile cu electroliți solizi nu duc lipsă de „candidați" ce își așteaptă rîndul pentru a fi testați, pentru a-și dovedi eficiența în producerea de curent electric. Din această cauză, ziua în care automobilul electric se va impune cu autoritate pe șoselele și, mai ales, în tot mai poluatele noastre orașe nu este atît de departe pe cît s-ar crede la prima vedere.

La fel de atractive pentru propulsia electrică sînt și bateriile cu săruri topite, surse de mare capacitate, capabile atît de energii, cît și de puteri specifice ridicate. Acest tip de pile, care funcționează la temperaturi de 200—500°C, sînt cele mai promițătoare surse chimice de curent, din cauza unor avantaje majore cum ar fi: conductibilitate electrică mare datorită mobilității sporite a ionilor; absența apei; reactivitate mare, deci lipsa de polarizare electrochimică; valori mari ale tensiunilor la borne, de pînă la 3,6 V. În ciuda dezavantajelor legate de temperatura de lucru, utilizarea unor materiale rezistente la coroziune și o importantă autodescărcare, există un larg domeniu de aplicații pentru aceste pile de mare putere și energie, în special în tracțiunea electrică — vehicule cu motor exclusiv electric (de transport uzinal, automobile, autobuze, trenuri), vehicule cu acționare hibridă (parțial electrică, parțial cu ardere internă) — dar și la sateliți, comunicații la mare distanță etc. Se estimează că asemenea baterii pot funcționa pînă la 2 000—3 000 de cicluri încărcare-descărcare, cu o durată de lucru în regim cald de mai mulți ani, la un preț rezonabil.

Astăzi, este general acceptat faptul că, pentru a putea fi utilizată în transport, o baterie trebuie să aibă performanțe de putere și energie de circa 200 W/kg și 200 Wh/kg. Unele pile de combustie clasică asigură energia necesară, dar nu și o putere suficientă, curenții fiind relativ mici din cauza electrozilor de difuzie. Alte baterii speciale — nichel-cadmiu sau argint-zinc — dispun de puteri mari, dar nu și de o energie suficientă. Din acest punct de vedere, cel mai bine sînt plasate pilele cu săruri topite, iar cercetările din ultimii ani și-au propus adaptarea la automobilul electric tocmai a unor astfel de baterii. Cele mai uzuale tipuri de baterii în regim cald, care au dat și cele mai bune rezultate, sînt: pilele sodiu-sulf, litiu-sulf și litiu-clor.

• Pila sodiu-sulf, care lucrează la 300°C și are o tensiune maximă de 2,1 V, a fost cercetată începînd din anul 1966 (în S.U.A. de compania Ford, apoi în Marea Britanie), iar primul automobil electric a fost construit în 1972. În țara noastră, studii asupra unor astfel de baterii sînt întreprinse la Universitatea Cluj-Napoca, în colaborare cu cercetători de la I.F.T.M. — București, realizîndu-se membrane ceramice de beta-alumină cu care lucrează aceste pile.

• Pila litiu-sulf (care este studiată intens în S.U.A., la Laboratorul Național din Argonne) are la anod litiu topit, iar la catod un electrolit topit format din cloruri alcaline (de obicei litiu și potasiu) în care s-a dizolvat sulf sau sulfuri, seleniuri, telururi etc. Temperatura de lucru este de 350—375°C, cînd se obține o tensiune maximă de 2,4 V. La Institutul Politehnic București, Facultatea de Electrotehnică, este cercetată o astfel de pilă (în colaborare cu specialiști de la Centrul de Chimie Fizică), electrodul negativ este un aliaj litiu-aluminiu în stare solidă, iar în compartimentul catodic se găsește cărbune imersat într-un amestec de cloruri de litiu și potasiu în care s-a dizolvat sulfură feroasă.

• Pila litiu-clor prezintă cele mai mari tensiuni de lucru (3,4—3,6 V) și conține un electrod de litiu topit, în timp ce celălalt constă din clor sau cloruri topite. Ele au două avantaje esențiale: folosind un metal ușor, pilele vor avea puteri specifice și energii specifice mari; funcționînd în stare topită, ele pot realiza curenți de descărcare mult mai mari fără probleme de electrocristalizare. Contribuții noi în acest domeniu au fost aduse de cercetările de la Institutul Politehnic București (Catedrele de chimie fizică și de termotehnică), unde s-au realizat pile de acest tip; ele constituie obiectul a două recente brevete de invenție. O baterie litiu-clor, cu peste 100 de pile legate în serie, a furnizat o energie de circa 250 Wh/kg, bateria putînd servi pentru acționarea unui motor de autoturism; acesta ar avea o autonomie de circa 7 ore.

Un alt beneficiar al progreselor deosebite realizate în domeniul chimiei va fi, desigur, „energetica solară", ramură ce se va dezvolta în viitorii ani într-un ritm continuu ascendent. Argumente?

Pămîntul se „scaldă" literalmente într-un flux continuu, de mare intensitate, de energie radiantă furnizată gratuit de către Soare. Singura problemă ce se pune într-adevăr este captarea eficientă a acestei surse inepuizabile de energie și, desigur, folosirea ei în cele mai diverse sectoare ale vieții și activității cotidiene ale omului.

Nu se poate spune că problema a fost complet ignorată. Cu deosebire în ultimii ani, ca urmare a creșterii extraordinare a prețului hidrocarburilor fosile care stau încă, în marea majoritate a țărilor lumii, la baza producerii energiei termice și electrice, nu au lipsit încercările de a aduce Soarele... în circuitul economic. Cele mai promițătoare rezultate au fost obținute în domeniul procedeelor de conversie termică a energiei radiante, urmată sau nu de transformarea acesteia în electricitate. Deși investițiile sînt destul de însemnate, în practica curentă au început să-și facă loc nu numai microcentrale solare pentru uz restrîns, ci chiar instalații gigantice a căror putere instalată este de ordinul zecilor de megawați. Proiectele ambițioase, aflate în diferite stadii de studiu sau execuție, prevăd depășirea, în viitor, a acestor adevărate recorduri tehnice.

Din păcate, nu același lucru se poate spune despre metodele de transformare directă a energiei solare în curent electric. În ciuda faptului că fenomenul fotoelectric a fost studiat temeinic și elucidat din punct de vedere teoretic de multă vreme, numeroase aspecte practice ale folosirii sale sînt departe de a fi fost rezolvate.

Astfel, astăzi se știe că atunci cînd o anumită cantitate de energie luminoasă — un foton — pătrunde într-un material oarecare, există probabilitatea ca el să fie „absorbit" de către un electron. Acesta va trece din „banda energetică" a valenței în cea a conductivității electrice, fiind smuls, cu alte cuvinte, din sfera de atracție a nucleului și devenind un electron liber, capabil de a fi „injectat" într-un circuit electric. Cînd fenomenul se petrece într-un metal, traiectul pe care îl poate parcurge electronul excitat este destul de scurt: după circa 10 Å el își va pierde, sub formă de căldură, în urma ciocnirilor repetate suferite în densa rețea metalică, energia captată de la radiația incidentă.

Cu totul altfel stau însă lucrurile în cazul unui semiconductor. Aici, funcție de natura sa, de puritatea chimică, de particularitățile structurii rețelei cristaline etc., parcursul mediu al unui electron fotoexcitat poate atinge cîțiva microni sau chiar zeci de microni. Ca urmare, într-un asemenea material iluminat va lua naștere o tensiune electromotoare suficient de însemnată, electronii fiind „colectați" prin intermediul unei joncțiuni de tip p-n sau al unui electrod de metal depus.

Analiza „posibilităților" energetice ale spectrului solar, precum și a caracteristicilor principalelor tipuri de materiale semiconductoare folosite în prezent recomandă ca un candidat prețios la titlul de „fotocaptator" siliciul. Dar, deși siliciul este extrem de larg utilizat astăzi în înfloritoarea industrie electronică, prețul său este încă destul de ridicat. Cum pentru o fotocelulă de uz energetic se decupează dintr-un monocristal de siliciu cu diametrul de circa 5 cm plăcuțe cu grosimi de 300 de microni — aceasta din motive de rezistență mecanică, deoarece experiențele au arătat că randamentul ar fi identic și la numai 50 de microni grosime —, cum la fiecare tăiere ferăstrăul transformă în pulbere irecuperabilă alți 200 de microni din prețiosul material, se înțelege ușor de ce cheltuielile legate de fabricarea fotocaptatoarelor cu siliciu sînt încă mari. Ca urmare a acestui fapt, precum și a randamentelor scăzute, ce nu depășesc 14%, costul kilowatului-oră produs prin efect fotoelectric este de multe ori (în anumite condiții chiar de 100 de ori) mai mare decît cel al energiei electrice echivalente produsă pe cale clasică.

Ce s-ar putea face oare într-o asemenea situație? În primul rînd ar trebui încercate și alte materiale. Or, o asemenea operație a și început. Cu mai mulți ani în urmă, în cercetările spațiale au fost introduse celule fotoelectrice pe bază de sulfură de cadmiu și de cupru. Mult mai ieftine, ele aveau însă un randament de conversie destul de scăzut, de numai 7%. Chiar după serioase perfecționări, asemenea celule nu realizau mai mult de 10%, ceea ce pentru alimentarea unor consumatori de putere mică nu reprezenta un inconvenient prea mare, dar le tăia practic orice șansă în competiția pentru energiile mari.

Mult mai avantajoasă părea folosirea cristalelor de arseniură de galiu. Performanțele obținute cu ajutorul ei sînt cu adevărat impresionante: randamentul de utilizare a energiei radiante depășește 20%. Cu ajutorul concentrării luminii solare prin intermediul unor oglinzi se întrevede posibilitatea atingerii unui randament de transformare de 23%. Mai mult, cum arseniura de galiu își conservă proprietățile fotoelectrice și la temperaturi ridicate, se deschide perspectiva concentrării de pînă la 1 000 de ori a intensității fasciculului luminos și deci a reducerii considerabile a suprafeței „capcanei solare". Calculele arată că pentru o centrală cu o putere de 10 MW suprafața celulelor colectoare ar trebui să fie de numai 80 m^2 în cazul arseniurii de galiu, față de 50 000 m^2 în cel al siliciului monocristalin.

Dar arseniura de galiu este un produs sintetizat din elemente prea puțin la îndemîna industriei și după tehnologii extrem de dificile. Ca urmare, prețul ei este cu mult mai ridicat decît cel al costisitorului siliciu monocristalin de puritate electronică.

Materialul care ar fi necesar ar trebui să poată fi obținut din materii prime ieftine, abundente și în cadrul unor tehnologii nu prea complicate. De asemenea, randamentul de transformare a energiei radiante în energie electrică ar trebui să fie cît mai ridicat. Or, un material cu asemenea proprietăți miraculoase este pe punctul de a fi „descoperit".

Este vorba despre siliciul amorf — lipsit de structură cristalină —, preparat și dopat după un procedeu elaborat de către un grup de cercetători de la Universitatea din

Dundee, Scoția. El se prepară pornind de la atît de larg răspînditul dioxid de siliciu — nisipul cuarțos — care prin reducere cu hidrogen, este transformat în silan (SiH_4). Combinația siliciului cu hidrogenul este un gaz ce poate fi disociat în cele două elemente componente în condițiile unei temperaturi ridicate și ale unui cîmp electric de înaltă frecvență. Stratul de siliciu amorf depus pe substratul inert este foarte subțire și uniform, valorificînd cu multă eficiență materia primă. Pe de altă parte, hidrogenul rezultat la descompunerea în cîmp electric a plasmei formează o legătură covalentă cu așa-numitele „legături rupte" ale atomilor de siliciu, reducînd defectele de structură de 1 000 pînă la 10 000 de ori față de cazul siliciului amorf obținut prin intermediul procedeului clasic de pulverizare catodică.

Rezultatul acestui proces îl constituie o fotoconductivitate extrem de pronunțată. Mai mult, metoda de preparare permite și doparea simplă, rapidă și eficientă, a stratului de siliciu. Pentru aceasta este suficient ca în incinta de reacție să fie introduse, o dată cu siliciul, mici cantități de hidrogen fosforat (PH_3) și de diboran (B_2H_6). Prin descompunerea lor concomitentă cu cea a silanului se realizează impurificarea controlată a siliciului, fapt ce conferă ansamblului o conductivitate electrică deosebit de avantajoasă. Datorită tuturor acestor calități, celulele fotoelectrice pe bază de siliciu amorf promit să revoluționeze energetica... solară. Ele nu sînt numai ieftine și ușor de fabricat, dar au și un randament de pe acum destul de ridicat: 15%.

Viitorul promite așadar să aducă, o dată cu alte perfecționări, și noi tipuri de fotocelule de mare eficiență și economicitate. Pe baza acestor posibilități, unele state și-au propus să-și asigure, în perspectiva începutului mileniului III, pînă la 25% din necesarul de energie electrică și termică din inepuizabilele și gratuitele rezerve ale Soarelui.

Și în țara noastră sînt în curs cercetări științifice sistematice care vor face ca, pînă în anul 2000, producția de energie electrică avînd drept bază energia radiantă a Soarelui să dețină o pondere semnificativă în balanța energetică a economiei naționale.

Capitolul IV

SCHIȚĂ DE PORTRET PENTRU CHIMIA SECOLULUI XXI

În ciuda marilor servicii aduse civilizației, vieții cotidiene a omului modern, industria chimică actuală nu se bucură de o prea mare prețuire în zilele noastre. Ea este privită astăzi, de multe ori, ca un fel de rău necesar, la care totuși s-ar renunța fără nici un fel de regret — dacă acest lucru ar fi posibil — chiar mîine. Unii specialiști nici măcar nu mai așteaptă acel ipotetic mîine, avansînd încă de pe acum soluții — mai mult sau mai puțin viabile — ce tind să ne dispenseze de contribuția uneori discutabilă a industriei chimice. Cazul agriculturii biologice, în cadrul căreia nu s-ar recurge decît la îngrășăminte naturale, protecția culturilor efectuîndu-se prin combaterea dăunătorilor tot cu ajutorul unor... dăunători, este numai unul dintre exemplele în acest sens.

Ce i se reproșează în fond chimiei actuale? În primul rînd, că este un mare consumator de materii prime, dintre cele mai prețioase și mai rare. Hidrocarburile fosile și metalele neferoase sînt numai cele mai cunoscute dintr-un lung șir de exemple ce justifică această afirmație. Apoi, chimia este un la fel de mare consumator de energie. În contextul crizei energetice mondiale, condițiile de lucru din marile combinate chimice, unde temperaturi de sute de grade și presiuni de sute de atmosfere constituie ceva de la sine înțeles, reprezintă, în ochii multora, un lux la care, dacă am putea, ar fi de dorit să renunțăm. În sfîrșit, industria chimică este una dintre cele mai importante surse de poluare, ea fiind responsabilă de otrăvirea, uneori gravă, a mediului nostru ambiant. Într-o lume hipersensibilizată față de problemele ecologice, argumentul are o greutate considerabilă.

Sînt, fără îndoială, obiecții pertinente, pe deplin justificate. Și atunci? Va dispărea oare — într-un viitor mai mult sau mai puțin apropiat — industria chimică, sub-

minată de propriile ei tare care o vor fi făcut complet indezirabilă omului mileniului următor? Dacă paginile precedente s-au străduit să demonstreze cît de necesară este chimia în rezolvarea unora dintre marile probleme cu care se confruntă în prezent umanitatea, cele care urmează își propun să aducă argumente în sprijinul afirmației că industria chimică este pe deplin capabilă să se adapteze exigențelor tot mai ridicate ale prezentului și, mai ales, ale viitorului, continuînd să aducă, totodată, o contribuție cel puțin la fel de însemnată ca și pînă acum la progresul și bunăstarea omenirii. Ele încearcă să contureze astfel o schiță de portret pentru chimia secolului XXI.

1. Surse neașteptate de materii prime

Oricît ar părea de paradoxal faptul, criza materiilor prime — dintre care cea a petrolului este numai cea mai bine cunoscută, fără a fi însă, probabil, singura de o mai mare gravitate — are și un pronunțat caracter pozitiv: ea a demonstrat că resursele Terrei nu sînt nelimitate. Ori, în însăși această constatare se află cheia rezolvării problemei. Dacă nu mai putem conta multă vreme pe vechile surse de materii prime, va trebui să găsim altele noi. Iată de ce astăzi cvasitotalitatea ramurilor industriale amenințate de lipsa materiilor prime clasice se străduiesc să-și asigure o bază nouă, neconvențională, de asemenea resurse.

Industria chimică se află și ea în prezent în plin proces de restructurare a bazei sale de materii prime. Chiar dacă hidrocarburile fosile, de exemplu, vor mai rămîne încă multă vreme la baza petrochimiei — și este normal să fie așa, dat fiind că prelucrarea lor pînă la materiale și produse superioare ca materialele plastice, fibrele și firele artificiale, cauciucuri, medicamente și coloranți este mult mai avantajoasă decît simpla lor ardere în termocentrale sau chiar în motoarele autovehiculelor — nu lipsesc încă de pe acum nici preocupările pentru aducerea în circuitul economic a unor surse noi de materii prime. Unele soluții nu sînt nici măcar originale, fiind doar redescoperirea și readaptarea unor procedee mai vechi, abandonate în momentul în care petrolul era abundent și ieftin. Acesta este cazul carbochimiei.

Într-adevăr, vechiul și cunoscutul cărbune ar putea potoli nu numai „foamea" de energie a civilizației noastre, ci ne-ar putea asigura și o largă bază de materii prime pentru industria chimică. Aceasta deoarece, subliniază pe bună dreptate adepții carbochimiei, în procesul de fabricare a cocsului, adevărată „pîine" a furnalelor metalurgice, rezultă și cvasitotalitatea substanțelor de care au nevoie unele dintre domeniile de mare importanță ale chimiei de sinteză. Mai mult, tehnologiile de separare, purificare și chimizare a diferitelor componente ale amestecului cunoscut sub denumirea de gudron de cocserie au fost puse la punct de foarte multă vreme. Ascensiunea chimiei organice de sinteză s-a realizat dealtfel pe baza existenței materiilor prime puse la dispoziție prin distilarea uscată a cărbunelui. Abia mult mai tîrziu ea a devenit moderna chimie contemporană. Iată de ce în numeroase țări ale lumii preocuparea pentru optimizarea balanței de materii prime se materializează în revitalizarea chimizării gudroanelor de cocserie.

Producția actuală de gudroane de cocserie constituie, pe plan mondial, o bază considerabilă de resurse de materii prime pentru industria chimică de sinteză. Astfel, potrivit unor date recente, în lume se produc anual circa 16 milioane tone de gudroane. Principalele țări în ierarhia mondială a producătorilor sînt, în ordine, următoarele: S.U.A. (3 350 000 t/an); U.R.S.S. (2 500 000 t/an); Anglia (2 439 000 t/an); Japonia (1 350 000 t/an); R.F.G. (1 193 000 t/an); Franța (625 000 t/an); Polonia (600 000 t/an); China (500 000 t/an); Cehoslovacia (400 000 t/an); India (300 000 t/an); Belgia (282 000 t/an); Italia 245 000 t/an).

Astăzi prelucrarea gudroanelor în vederea separării compușilor chimici pe care acestea le conțin se realizează centralizat, în uzine dotate cu instalații și agregate de înaltă productivitate. Din această cauză rezultă, ca un avantaj deosebit față de prelucrarea separată, la fiecare uzină cocsochimică, scăderea simțitoare a cheltuielilor necesitate de investiții și exploatare.

Pe de altă parte, preocuparea pentru extinderea separării și valorificării diferitelor fracțiuni rezultate la prelucrarea gudroanelor de cocserie este o constantă a politicii economice a țărilor avansate din punct de vedere

tehnologic. În U.R.S.S., de exemplu, se prevede ca în decursul anilor următori să se treacă la lărgirea secției de prelucrare a gudroanelor de la uzina „Ardeevka" pînă la 600 000 de tone într-o primă fază, și apoi la 800 000 de tone/an. Se prevede, de asemenea, ca actuala capacitate de prelucrare a uzinei „Siberia apuseană" să fie crescută pînă la 400 000 tone de gudron pe an. În Cehoslovacia, gudronul de cocserie și benzenul brut sînt prelucrate centralizat la uzina din Valașkie Mezirijițe. În R. F. Germania, firma „Rütag" prelucrează la uzina din Meiderich 850 000 tone de gudron și benzen brut, iar la uzina din Castrup Rauxel 400 000 de tone. Aceste două unități asigură prelucrarea a circa 75% din gudroanele obținute în marele bazin carbonifer Ruhr și centralizează mai mult de jumătate din materia primă cocsochimică din R.F.G. În sfîrșit, în S.U.A. numai uzina din Clairton, statul Pennsylvania, aparținînd concernului United States Steel Corporation, prelucrează 400 000 tone de gudroane anual.

De ce sînt gudroanele de cocserie atît de atractive pentru chimia contemporană? Pentru a răspunde la această întrebare, este suficient să analizăm, pe scurt, posibilitățile de separare a unor produși extrem de căutați astăzi pe care îi conțin „deșeurile" rezultate la distilarea huilelor în vederea obținerii cocsului. Într-adevăr, în mod curent, dintr-o tonă de cărbune se pot separa, în cantități apreciabile, o gamă largă de substanțe chimice, ca benzen, toluen, xileni, sulfură de carbon, naftalină, antracen, acenaften, indol, fenol, crezoli, baze piridinice, chinoline etc. Țările cu industrie cocsochimică dezvoltată valorifică aceste substanțe prețioase fie sub formă de produse tehnice, ca materii prime pentru industria chimică de sinteză, fie sub formă de reactivi. În ultimii ani, industria cocsochimică a contribuit în mod substanțial, în unele țări, la acoperirea necesarului de hidrocarburi aromatice. Astfel, U.R.S.S. și Polonia își asigurau aproximativ 70% din necesarul de benzen și chiar 100% din cel de naftalină și crezoli al economiilor lor din resurse cocsochimice. La rîndul ei, R.F.G. obținea, pe aceeași cale, 46% din benzenul consumat, 90% din naftalină și 70% din crezolii necesari. În sfîrșit, în Japonia ponderea produselor cocsochimice în consumul național era de 28% la benzen și 100% la naftalină și crezoli.

Utilizările substanțelor conținute în gudroanele de cocserie sînt dintre cele mai importante pentru industria chimică. Să le examinăm pe rînd. Astfel, indenul și cumarona sînt folosite la obținerea unor rășini sintetice cu interesante aplicații industriale. Fenolul joacă un rol important ca materie primă în industria cauciucului și a materialelor plastice. Din crezoli se sintetizează produse fitofarmaceutice, iar din xilenol compuși utilizați în industria cauciucului și a prelucrării materialelor plastice. Naftalina servește drept punct de plecare pentru fabricarea de coloranți și pesticide. Antracenul dă naștere, prin oxidare, la antrachinonă, materie primă pentru obținerea cunoscuților coloranți antrachinonici. În R.F.G. se utilizează anual în acest scop circa 20 000 tone de antracen obținut din gudroane. Lista ar putea fi completată cu produse ca metilnaftalinele, acenaften, fluoren, difenil etc., substanțe prețioase pentru industriile producătoare de insectofungicide, coloranți, mase plastice, biostimulatori, medicamente etc.

Datorită dezvoltării industriei metalurgice, țara noastră dispune și ea de o largă producție de gudroane de cocserie. Pe această bază, în cadrul Centrului de cercetări pentru coloranți din București a fost elaborat un vast și minuțios studiu asupra perspectivelor și posibilităților de utilizare a gudroanelor de cocserie ce se produc și se vor produce în țara noastră.

Gudroanele de cocserie pot deveni, de asemenea, o prețioasă sursă de materii prime și pentru întreprinderile producătoare de *medicamente, insectofungicide, pesticide* etc. Practic, numeroase domenii ale așa-numitei *chimii de mic tonaj,* unde, printr-o chimizare avansată, se obțin *creșteri de zeci sau de sute de ori ale valorii materiilor prime* supuse prelucrării, vor beneficia din plin de pe urma recuperării prețioaselor componente chimice cuprinse în gudroanele de cocserie.

Unele tehnologii de chimizare a acestor compuși au fost deja puse la punct. La Centrul de cercetări chimice din Timișoara, de exemplu, au fost elaborate *șapte tipuri noi de erbicide, două tipuri de stimulatori de creștere și trei noi intermediari pentru sinteza maselor plastice* care pornesc de la unul dintre compușii existenți în gudroanele de cocserie — acenaftenul.

Dar nu numai gudroanele de cocserie pot servi ca bază de materii prime pentru industria chimică. Cele două procedee de transformare a cărbunelui în hidrocarburi — gazeificarea și lichefierea, pe care le-am prezentat în capitolul precedent — sînt capabile să asigure nu numai carburanți pentru motoarele viitorului, ci și prețioși intermediari pentru sinteza celor mai variate produse chimice. Cum însă chiar și rezervele de cărbuni sînt limitate, cercetătorii și-au orientat căutările spre alte două surse pe cît de neașteptate, pe atît de vaste: biomasa vegetală, ce se regenerează în fiecare an, și dioxidul de carbon.

Oricît ar părea de neverosimil, primii polimeri nu au fost sintetizați de om. Ei s-au format în laboratoarele lumii vegetale cu mult înainte ca Homo Sapiens să fi apărut ca specie. Sursa lor de apariție o constituie un proces extrem de complex, de o importanță covîrșitoare pentru viața pe Terra: fotosinteza. Într-adevăr, din componenți simpli ca apa și dioxidul de carbon, din azotați și fosfați, precum și din unele elemente prezente în cantități scăzute în sol, cum ar fi sulful, siliciul, magneziul, calciul, fierul și altele, plantele reușesc să sintetizeze cu ajutorul energiei solare totalitatea substanțelor — unele de o complexitate uimitoare — ce asigură continuitatea ciclului biologic, atît vegetal, cît și animal.

Printre cei mai interesanți compuși ce rezultă din procesul fotosintezei sînt zaharurile. Ei sînt constituiți din molecule foarte asemănătoare între ele, numite monozaharide, avînd aceeași formulă brută, $C_6H_{12}O_6$, dar fiind structural diferite: glucoza și fructoza. Prin aranjarea acestor „monomeri" în diferite combinații se obține zahărul (glucopiranoză condensată cu o fructofuranoză), amidonul (alfa-glucopiranoză polimerizată) sau celuloza (beta-glucopiranoză polimerizată). Aceste substanțe sînt foarte abundente în natură. Astfel, producția anuală de celuloză stocată în copaci sau în structura celorlalte vegetale se cifrează la cel puțin un miliard de tone. Ea este cel mai răspîndit compus al carbonului sintetizat de plante.

Polimerii sintetici, mîndria chimiei secolului XX, nu sînt așadar decît rezultatul copierii unor brevete ale naturii. Nu este de altfel lipsit de semnificație faptul că unul dintre primele produse ce au inaugurat „civilizația materialelor sintetice" — mătasea artificială — nu este altceva decît polimerul celulozic tratat chimic pentru a putea fi solubilizat și reprecipitat apoi sub formă de fire ce nu se dizolvă în apă.

Dacă monozaharidele se aranjază în diferiți polimeri naturali, de ce nu s-ar putea trece și la operația inversă, de scindare a acestora și eventual, mai apoi, de tratare și rearanjare a lor în alți polimeri, mai potriviți cu nevoile atît de variate ale tehnicii secolului nostru?

Prima din aceste posibilități a început să devină realitate industrială. Cea mai simplă cale de urmat, odată structura amidonului cunoscută, este „depolimerizarea" acestuia cu obținerea glucozei. Operația nu este din punct de vedere tehnologic prea complicată. Hidroliza amidonului decurge ușor, în prezența acidului sulfuric sau clorhidric diluat. Siropul dulce obținut este folosit, după purificare, în industria alimentară. Dar capacitatea de îndulcire a glucozei este destul de slabă — numai 60 sau 75% din cea a zahărului, funcție de cazul obținerii D-glucozei sau, respectiv, a dextrozei, izomerul acesteia. Ceea ce ar fi deosebit de avantajos de realizat în urma hidrolizei ar fi obținerea fructozei a cărei capacitate de îndulcire este cu 30% mai ridicată chiar decît a zahărului. Este posibil acest lucru? Cercetările efectuate în Japonia au dat un răspuns pozitiv la această întrebare. Specialiștii niponi au reușit primii să selecționeze microorganisme capabile să transforme glucoza în fructoză, obținînd astfel din cereale sau cartofi un zahăr sintetic superior celui extras din trestia sau sfecla de zahăr. Asemenea procedee sînt în curs de a fi puse la punct și în Franța.

Dar zahărul prezintă și unele inconveniente: la un consum abuziv, el este unul din responsabilii apariției obezității și al cariilor dentare. Ceea ce am dori uneori ar fi un zahăr dietetic dulce, dar cu conținut redus de calorii și care să nu atace dinții. Este exact ce au realizat specialiștii firmei Hayashibara care, folosind microorganismele, au obținut din amidon maltoza, un alt dizaharid format din două molecule de glucoză. Prin hidrogenarea acesteia se formează un produs denumit Malbitol care are puterea de îndulcire a zahărului, dar nu este asimilat de organism. În viitor, așadar, dulciuri la discreție, fără riscul îngrășării și al cariei dentare!

Sînt, desigur, realizări interesante. Mai interesantă însă ar fi valorificarea celulozei, mai precis transformarea ei în zahăr. Operația este aprioric mult mai dificilă deoarece legăturile chimice interne ale acestei macromolecule sînt mai puternice și deci mult mai greu de rupt. Un procedeu pur chimic ar trebui să utilizeze reactivi puternici, acizi tari în concentrații importante, fapt care l-ar face destul de puțin rentabil.

O altă cale pare să ofere soluția dorită. Cercetătorii japonezi au reușit să realizeze în fază de laborator hidroliza enzimatică a celulozei. Ei au folosit, se pare, o specie de microorganisme cu acțiune similară celulelor capabile să digere celuloza din stomacurile bovinelor. Vom fabrica, deci, zahăr din lemn sau chiar din deșeuri de hîrtie care nu este altceva decît pastă celulozică? Deși pare incredibil, perspectiva nu este deloc absurdă.

Desigur, transformarea celulozei în amidon sau zahăr este încă departe de a fi realizabilă la scară industrială. Tehnologiile microbiologice ridică probleme extrem de complicate, începînd de la lucrul în incinte închise, perfect sterilizate, pentru a nu permite intervenția altor microorganisme cu acțiune diferită, și pînă la purificarea produselor astfel obținute înainte de a fi consumate ca alimente. Dificultățile nu sînt însă insurmontabile. Argumente în acest sens sînt, de exemplu, progresele extraordinare ale industriei antibioticelor. Deficitul de alimente din unele zone ale globului va putea fi compensat în viitor și pe această cale.

Dacă monomerii zaharurilor naturale pot fi rearanjați pentru a obține alte substanțe naturale, ei pot fi probabil utilizați și pentru a forma noi tipuri de molecule, neîntîlnite încă în laboratoarele lumii vegetale. Alegerea acestei premise ca ipoteză de lucru are în vedere nu numai eventualitatea înlocuirii sursei de compuși ai carbonului care este petrolul, ci și posibilitățile multiple pe care le oferă zaharochimia, precum și avantajele deosebite ale unei asemenea resurse de materii prime. Să le analizăm pe rînd.

Conform unui simplu calcul matematic, diversitatea sub aspect structural — și deci a proprietăților fizice și chimice — a zaharocompușilor este extrem de largă. Astfel, numai compușii substituiți cu un singur substituent ai zahărului sînt în număr de 255. Dacă luăm în considerare numărul maxim de substituenți posibili — 8 —, numărul combinațiilor posibile ale zahărului este de $1{,}6 \times 10^7$. Or, zahărul este format din numai doi monomeri. În cazul polizaharidelor, aceste posibilități se ridică la cifre astronomice. Cu alte cuvinte, zaharochimia este la fel de vastă, cuprinde un număr la fel de mare de posibilități de aranjare intramoleculară ca și chimia hidrocarburilor.

Pe de altă parte, în afara faptului că zaharocompușii s-ar obține din plante — o sursă anual regenerabilă, practic inepuizabilă — ei ar fi biodegradabili, adică ar putea fi distruși de microorganisme. Această caracteristică nu este de loc de neglijat dacă luăm în considerare problema acută pe care o ridică pentru conservarea mediului înconjurător acumularea unor cantități din ce în ce mai mari de materiale plastice uzate, de detergenți folosiți care sînt neputrescibili. În sfîrșit, inflamabilitatea firelor sintetice pe bază de hidrocarburi ar fi mult diminuată în cazul fibrelor obținute din celuloză, amidon sau alte zaharide, iar țesăturile, textilele și confecțiile fabricate din asemenea fire nu ar provoca fenomene de intoleranță la purtare.

Iată, deci, că ideea fabricării de materiale plastice, fire sintetice sau detergenți pornind de la hidrații de carbon vegetali nu este numai posibilă teoretic, ci și avantajoasă sub aspect practic. Începutul a fost, de altfel, deja făcut. În Japonia a fost sintetizat, pornind de la amidon, un nou tip de material plastic. Cu ajutorul unei specii deosebite de microorganisme — Pullularia pullulans — din amidon s-a obținut un triglucopolizaharid care încălzit, comprimat și tratat cu vapori de apă devine Pullulanul, un material plastic transparent, rezistent la temperaturi scăzute, ce poate fi tras în folii și fibre sau poate fi modelat prin injecție. Solubilitatea sa în apă poate fi dirijată după dorință, funcție de gradul de esterificare sau eterificare al polimerului. El nu conține plastifianți toxici, este biodegradabil și poate fi folosit în intervalul de temperaturi cuprins între —30 și +100°C.

Desigur, nu se pune problema ca el să concureze mult răspîndita policlorură de vinil. Producția sa nu depășește încă 5 000 tone anual. Dar s-a demonstrat faptul că materialele plastice nu sînt apanajul exclusiv al petrochi-

miei. În viitor, alți polimeri pe bază de zaharide vor apare, întîi în domenii extrem de restrînse ale tehnicii. Pe măsura confirmării avantajelor proprietăților lor și a realizării unor condiții economice competitive de fabricație, ele se vor extinde.

Materialele plastice nu sînt singurele produse deja existente ale zaharochimiei. Prin fixarea de grupări sulfonice pe lanțurile derivaților amidonului s-au obținut în Anglia detergenți cu calități excelente de spălare și care nu mai distrug, prin acumulare, viața din rîuri și lacuri.

Perspectivele zaharochimiei sînt fabuloase. Prin hidrogenare sub presiune sau prin simplă fermentare anaerobă, hidrații de carbon pot fi transformați în hidrocarburi, respectiv în metan. Lanțul polizaharidelor poate fi atacat și rupt în diferite locuri, poate fi supus oxidării, esterificării, eterificării etc. Rezultă serii întregi de compuși extrem de interesanți sub aspect chimic și tehnologic, de la grăsimi și pînă la acetali, tioacetali și compuși chelați. Un interes deosebit l-ar prezenta reevaluarea unui procedeu vechi de peste șase decenii. În timpul primului război mondial, chimiștii germani au folosit glucoza la obținerea, prin fermentare, a alcoolului butilic. Din acesta ei preparau butadiene care, prin polimerizare, conducea la cauciucul sintetic polibutadienic. Cauciucurile sintetice fabricate pe baza polizaharidelor ar putea acoperi într-o zi necesarul mereu crescînd de elastomeri al tehnicilor actuale.

De mare importanță economică sînt, în perspectivă, posibilitățile de grefare a unor noi grupări moleculare pe lanțurile poliglucidice. Introducerea unor funcții cum ar fi acrilonitrilul, acrilamida sau oxidul de etilenă ar conduce la apariția unor copolimeri cu totul noi, ale căror performanțe nici nu pot fi încă bănuite. Zaharide simple ca lactoza sau zaharoza pot produce în combinație cu alți monomeri „clasici" spume poliuretanice, rășini zaharofenolice sau zaharomelaminice, epoxipolimeri sau poliesteri și polieteri. Macromolecule polizaharidice pot servi și ca suport inert pentru fixarea enzimelor. Acești catalizatori biologici naturali — extrași din material organic sau sintetizați de om — ar putea genera o nouă chimie în care reacțiile s-ar desfășura la presiune și temperatură normală, adică cu un consum energetic de sute de ori mai redus decît astăzi.

Rămîne de analizat un singur aspect, e drept, însă, esențial: cum poate fi concepută dezvoltarea zaharochimiei cînd la baza ei ar sta materiale deja deficitare — lemnul, amidonul din cereale, cartofi sau zahărul? De fapt, opinează specialiștii, în însăși nevoia mereu crescîndă de alimente se află cheia rezolvării ecestui paradox. Pe măsura intensificării producției agricole, se va acumula și o cantitate din ce în ce mai mare de „deșeuri" vegetale: tulpini, frunze, rădăcini, coji, paie, pleavă, reziduuri pulpoase etc., toate cunoscute sub denumirea de biomasă. În această imensă masă de materie organică, reproductibilă în fiecare an, se află sursa de materii prime a petrochimiei vegetale.

Una dintre metodele moderne de valorificare a biomasei o reprezintă extragerea celulozei cu ajutorul solvenților organici. În prezența unor enzime specifice — celulazele —, polimerul natural este scindat în componenți mult mai mici, cunoscuți sub denumirea de celodextrine. Pe această cale se poate descompune în condiții de temperatură și presiune normală, fără consum mare de energie și reactivi, pînă la 90% din celuloza extrasă.

Pasul următor îl constituie transformarea celodextrinelor în monomeri capabili de a forma, prin polimerizare, lanțurile macromoleculare ale materialelor plastice. Tratarea celodextrinelor cu reactivi specifici, modificarea structurii lor chimice permit obținerea unei mari varietăți de polimeri, ale căror proprietăți îi fac pe deplin competitivi cu cei obținuți pe cale petrochimică. Față de aceștia din urmă se obține însă avantajul valorificării unei surse de materii prime ieftine și abundente, regenerabile anual, precum și al economiei de energie la fabricație.

Polimerii celulozici permit însă obținerea de noi și importante economii energetice și în faza prelucrării lor pînă la produsele finite. Într-adevăr, odată obținuți din fracții petroliere, polimerii clasici sînt transformați în granule solide, care sînt apoi expediate la întreprinderile de prelucrare. Aici ei sînt din nou încălziți pentru a atinge punctul de fluidificare și injectați sub presiune în

formele și matrițele mașinilor de prelucrare. Ambele procese decurg cu un mare consum de energie. Temperatura de topire a polimerilor este cuprinsă între 200 și 300°C, iar pentru a determina circulația unor fluide extrem de vîscoase cum sînt polimerii lichizi sînt necesare presiuni considerabile, de ordinul a 800 kg/cm^2.

Pentru a preveni continuarea unei asemenea risipe energetice, în mai multe laboratoare de pe diferite meridiane ale globului se caută soluții noi de prelucrare a materialelor plastice pînă la obiectele finite dorite. Una dintre cele mai promițătoare căi pare să o constituie polimerizarea directă în matriță.

Cercetări interesante în această direcție au fost întreprinse de specialiștii de la Universitatea din Manchester, Marea Britanie. În cadrul tehnologiei puse la punct aici, monomerii sînt păstrați în stare lichidă în recipiente speciale. Ei sînt introduși prin pompare simplă în matriță, unde are loc polimerizarea. În acest fel se elimină întregul ciclu de granulare, stocare, transport, încălzire și injectare a polimerilor clasici.

O linie tehnologică de formare și prelucrare a materialelor plastice este relativ simplă ca structură. Monomerul și agentul chimic de inițiere a polimerizării (sau un alt monomer cu care primul va copolimeriza) sînt depozitați în două recipiente. Cu ajutorul pompelor, ei sînt introduși, în cantități optime și cu viteze controlate, în vasul de amestecare. De aici materia primă, care a și început să reacționeze, intră în matriță. După numai cîteva secunde, masa de polimer s-a întărit, iar obiectul este gata. Temperaturile tipice pentru asemenea procese sînt cuprinse între 55 și 70°C, iar presiunile între 120 și 240 kg/cm^2. O asemenea soluție permite simplificarea drastică a echipamentului, precum și scurtarea importantă a timpului de lucru. Ambele măsuri se repercutează extrem de favorabil asupra productivității muncii și asupra prețului produselor finite.

Dacă produsele de material plastic astfel obținute sînt utilizate în structuri de rezistență sau caroserii, ele trebuie să aibă caracteristici de rezistență și elasticitate superioare. Acest lucru se obține prin „armarea" polimerilor. În mod uzual, operația cuprinde includerea de fibre de sticlă sau carbon în masa de material plastic.

Cercetătorii britanici studiază posibilitatea de a realiza și această operație tot în matriță, comasînd și mai mult procesul.

Corolarul acestor cercetări îl constituie însă încercarea de a înlocui fibrele de armare, obținute din materiale energo-intensive ca sticla și carbonul, prin procese ce consumă la rîndul lor alte cantități însemnate de energie, cu materiale foarte simple. Astfel, la Universitatea Brunel din apropierea Londrei, un grup de cercetători studiază efectul adăugirii de... granule de amidon în masele plastice obișnuite sau obținute din biomasă. Primele rezultate par să indice faptul că includerea de amidon în „compoziția" materialelor plastice, în cantități de pînă la 40% din volum, duce la îmbunătățirea rezistenței la șocuri a produselor finite.

Noile materiale plastice din plante — armate cu aditivi celulozici și amidon sau nu — par să aibă perspective dintre cele mai interesante într-o epocă în care numeroși specialiști prevăd restrîngerea domeniilor de aplicare a polimerilor clasici, petrochimici. Astfel, în transporturi ele oferă rezistențe la coroziune deosebit de ridicate și rezistențe mecanice comparabile cu cele ale oțelului. Atuurile de care dispun le vor asigura penetrația și în domenii mai „exclusiviste", cum ar fi construcțiile civile și industriale sau chiar industria aerospațială.

Celuloza este însă numai una dintre substanțele sintetizate de plante. Numeroși alți compuși carbonați vegetali s-ar preta foarte bine chimizării. Unul dintre ei este *furfurolul*.

Ceea ce pare să fie astăzi un procedeu de avangardă, cu promisiuni extrem de interesante pentru sfîrșitul mileniului nostru, a fost deja experimentat acum patru decenii. În 1949, firma americană „Dupont de Nemours" inaugura o instalație de extragere a furfurolului din deșeuri vegetale. Acesta urma să fie folosit ca punct de plecare în sinteza nailonului.

Deși mica uzină a fost demult închisă, procedeul nefiind competitiv în epoca în care petrolul era abundent și ieftin, în perspectiva reducerii sau chiar epuizării rezervelor de hidrocarburi fosile ideea capătă o atractivitate deosebită. Aceasta deoarece furfurolul — $C_5H_5O_2$ — este o substanță extrem de utilă în sinteza chimică.

Pe de altă parte, în plante furfurolul se găsește în cantități substanțiale. Din orice deșeu agricol se poate extrage furfurolul cu un randament de 5—10 la sută, cifră deloc neglijabilă. În acest scop pot fi folosite paiele (care, de multe ori, se ard pe cîmp după recoltarea cu combinele), pleava de grîu, orz sau ovăz, cocenii de porumb, tulpinile de trestie sau pulpa sfeclei de zahăr, rămase după ce acesta a fost extras etc.

Masa acestor deșeuri este considerabilă sub aspect cantitativ. S-a calculat că numai în S.U.A., prin prelucrarea cocenilor de porumb rămași după separarea boabelor, s-ar putea obține anual 2 milioane tone de furfurol. La rîndul lor, țările producătoare de trestie de zahăr ar putea extrage din rămășițele procesului de fabricare a zahărului circa 50 milioane tone furfurol anual. Potențialul țărilor europene — în ipoteza valorificării în acest scop a deșeurilor agricole — se situează în jurul aceleiași valori.

Pentru comparație să notăm că subprodusele petroliere destinate sintezei chimice însumau pe plan mondial 40 milioane de tone în 1970 și 50—60 milioane de tone în 1976. Iată, așadar, că industria sintezelor petrochimice ar putea renunța la petrol, avînd asigurată o largă bază de materii prime în furfurolul vegetal.

Este posibil, din punct de vedere chimic, acest lucru? Chimiștii ne asigură că răspunsul este categoric afirmativ. Deși astăzi furfurolul nu este utilizat decît ca solvent și ca intermediar în sinteza unor mase plastice speciale, posibilitățile sale de valorificare în industria chimică sînt extrem de largi.

Astfel, prin eliminarea radicalului aldehidic CHO se obține furanul — C_4H_4O. Prin hidrogenarea sa catalitică rezultă tetrahidrofuranul care, tratat cu acid clorhidric și cianură de sodiu, conduce la adiponitril, produs de bază în fabricarea nailonului. Tetrahidrofuranul poate servi însă și la obținerea butadienei, materie primă pentru fabricarea cauciucului. Și nu numai a acestuia, ci și a numeroase alte materiale plastice ce au la bază monomerul butadienic. În sfîrșit, tetrahidrofuranul ar putea servi drept carburant în motoarele diesel, dată fiind puterea sa calorică ridicată, singur sau ca un adaos la fracțiile grele petroliere, devenite tot mai scumpe.

Eliminarea radicalului aldehidic nu este însă singura cale de valorificare în sinteza chimică a furfurolului. Prin hidrogenarea lui se obține alcoolul tetrahidrofurfurilic — un alt carburant posibil și un punct de plecare în sinteza materialelor plastice. Din el se obține pentadiena, C_5H_8, utilizabilă în fabricarea nailonului sau a altor polimeri sintetici. În sfîrșit, prin hidrogenarea butadienei sau a pentadienei rezultă butanul și, respectiv, pentanul, hidrocarburi care constituie baza a numeroase procese petrochimice.

Cum baza de materii prime pentru petrochimia cu ajutorul furfurolului există, cum studiile chimice privind valorificarea lui au fost sau sînt în curs de a fi efectuate, nu rămîne decît să fie stabilite condițiile economico-organizatorice prin care deșeurile vegetale obținute gratuit în fiecare an vor putea fi colectate și transformate în produse prețioase ca materiale plastice, fire și fibre sintetice, cauciucuri artificiale, medicamente și coloranți etc.

O sursă de materii prime atractivă se poate dovedi chiar și dioxidul de carbon.

Deocamdată însă dioxidul de carbon este practic neutilizat în industria chimică. El nu intervine decît în sinteza ureei, a acidului salicilic și a carbonatului de sodiu (procedeul Solvay) sau, ceva mai larg, în laboratoare. Or, susțin specialiștii, folosirea dioxidului de carbon ca materie primă ar prezenta avantaje deosebite. Se estimează că dioxidul de carbon cuprinde 10^{14} tone de carbon, adică de trei ori mai mult decît întreaga cantitate de carbon fosil cuprinsă în cărbune și petrol. Pe de altă parte, ciclul său este extrem de scurt, CO_2 reintrînd în atmosferă prin intermediul arderii substanțelor organice în procese biologice sau nebiologice. El nu riscă deci să se epuizeze rapid.

Pentru aceste motive, numeroși specialiști prevăd că în viitor dioxidul de carbon ar putea deveni principala, dacă nu chiar singura sursă de materii prime pentru sinteza celor mai importante substanțe organice utilizate în industria chimică.

Din păcate, dioxidul de carbon este cunoscut pentru inerția sa chimică, el reacționînd direct cu foarte puține substanțe. Ca și pentru azot sau oxigen, soluția pare să

rezide în imitarea proceselor biologice, cum sînt cel de fotosinteză sau cele enzimatice de carboxilare sau decarboxilare în care un catalizator activează molecule de CO_2.

Studiul acestor reacții biochimice a arătat că enzimele care participă la fixarea dioxidului de carbon conțin aproape întotdeauna ca centru activ un element metalic: anhidraza carbonică, enzimă ce catalizează hidratarea CO_2 cu formarea acidului carbonic, conține zinc, acetil carboxilaza care permite transformarea acidului acetic în acid maleic

$$CH_3—COOH + CO_2 \longrightarrow HOOC—CH_2—COOH$$

conține mangan.

Iată de ce, pentru activarea dioxidului de carbon, problema crucială a atragerii sale în sinteza chimică, s-a conturat ideea fixării sale pe un complex organometalic, în speranța că se va obține astfel o reactivitate comparabilă cu cea din procesele biologice.

Se știe de mai multă vreme că CO_2 reacționează cu complecșii organometalici de tipul R Me X (unde R este un radical organic, Me=litiu sau magneziu, iar X=clor, brom, iod), reacție utilizată pentru obținerea acizilor carboxilici. Cercetătorii au început să caute și alți complecși, cu alte metale, care să activeze CO_2. În 1968 a fost obținut un complex pe bază de cobalt, iar în anii următori alții, conținînd alte metale tranziționale — fier, cupru, titan, molibden etc. Mecanismul de fixare este următorul:

$$R—Me—X \xrightarrow{+CO_2} R—COO—Me—X \xrightarrow[-MeX_2]{+H_2O} RCOOH$$

Un alt procedeu de activare s-a constatat că îl constituie fixarea directă a CO_2 pe compuși organici ai rhodiului, platinei, cobaltului, nichelului, rutenului. În această activare, molecula de CO_2 este trecută din starea ei normală, lineară (unghiul dintre legăturile C=O este de 180°), într-una excitată, angulară, prin curbarea moleculei (unghiul dintre legăturile C=O este de 120°). În această configurație, orbitalii liberi cu o energie mai scăzută sînt degajați steric și pot participa la formarea unor legături chimice.

Acești complecși organometalici s-au dovedit a fi catalizatori activi ai dioxidului de carbon. Pe baza lor s-au

putut realiza, deocamdată numai în laborator, reacții interesante, cum ar fi, de exemplu, hidrogenarea acestuia cu obținerea acidului formic. Procesul invers, de descompunere catalitică a acidului formic în hidrogen și CO_2, prezintă un interes cu totul particular pentru sinteza organică dacă luăm în considerare că hidrogenul eliberat este deosebit de activ, putînd asigura hidrogenarea hidrocarburilor nesaturate, proprietate pe care hidrogenul obișnuit nu o are. Alte reacții, la fel de interesante, a căror realizare pare posibilă cu ajutorul activării CO_2 sînt fixarea directă a acidului formic la o olefină cu formarea unui acid carboxilic, obținerea de formamide etc.

Cum macromoleculele vegetale sînt elaborate pornind de la dioxidul de carbon fixat prin fotosinteză, de ce nu ar fi posibilă folosirea acestuia ca monomer în reacții de polimerizare? Această justificată întrebare și-a pus-o o echipă de cercetători japonezi. Rezultatul studiilor și încercărilor lor l-a constituit reacția de copolimerizare a dioxidului de carbon cu oxidul de etilenă

$$n\underset{\diagdown\,O\,\diagup}{CH_2—CH_2} + nCO_2 \longrightarrow [CH_2—CH_2—O—\overset{\overset{O}{\|}}{C}—O]_n$$

unde n=500—1 500. Condițiile de reacție sînt deosebit de blînde: în prezența catalizatorului de dietil zinc, ea se desfășoară la temperaturi obișnuite și presiune de pînă la 50 de atmosfere. Copolimerii, a căror greutate moleculară poate atinge 150 000, sînt constituiți în proporții egale din cei doi monomeri. Ei sînt, de fapt, policarbonați alifatici, iar proprietățile lor sînt legate de conținutul mare în oxigen (54% în greutate) și de polaritatea grupării carbonat. Din această cauză, polimerii carbonici sînt solubili în apă, acetonă sau tricloretilenă.

Căldura degajată la ardere este mică, aproximativ o treime din cea a polietilenei. Ei sînt stabili pînă la temperaturi de 200°C și pot fi degradați biologic sub influența unor anumite enzime, cum ar fi, de exemplu, pronaza, fapt important pentru prevenirea poluării mediului înconjurător. La 150°C, sub presiune, polimerii carbonici pot fi modelați pentru a obține diferite obiecte sau piese.

Ulterior au fost obținute și alte materiale plastice pe baza copolimerizării CO_2 cu diferiți compuși organici: epoxizi, imine, amine, diene etc. Anumiți polimeri obținuți pe această cale prezintă proprietăți interesante. Astfel, cel pe bază de etilenimină este solubil în apă, iar cel obținut din butadienă este un elastomer insolubil în solvenți organici.

Toate aceste materiale plastice obținute cu ajutorul dioxidului de carbon activ au încă o răspîndire foarte redusă, majoritatea nedepășind deocamdată faza de laborator. Existența lor dovedește însă, fără putință de tăgadă, că petrochimia fără petrol, avînd la bază dioxidul de carbon, nu numai că are perspective deosebite, dar și-a și început ascensiunea.

Dar nu numai petrochimia va beneficia de surse de materii prime noi, neașteptate. Situația industriei fotografice, bazată pe argint, este perfect asemănătoare.

Specialiștii sînt categorici: la actualul ritm anual de consum, care se cifrează la 15 000 — 17 000 de tone, în jurul anului 2000, rezervele convenționale de argint ale Terrei vor fi epuizate. De altfel, din aceste motive prețul „metalului alb" a cunoscut deja creșteri de 600% în mai puțin de 2 ani. Acest fenomen afectează grav nu numai producția de bijuterii sau industria electrotehnică și electronică, ci, mai ales, pune sub semnul întrebării viitorul înfloritoarei industrii foto-cinematografice. Într-adevăr, această ramură a atins astăzi un foarte ridicat grad de răspîndire, ea fiind indispensabilă nu numai celor mai diferite domenii industriale și economice, ci însuși omului obișnuit, care nu mai concepe să trăiască fără a-și imortaliza pe peliculă sau pe hîrtie, în imagini alb-negru sau color, cele mai frumoase și interesante clipe ale vieții.

Pentru a preveni criza ce se conturează cu tot mai multă acuitate, cercetători din diferite laboratoare ale lumii lucrează în prezent cu ardoare la elaborarea de noi procedee fotografice neargentifere. Dacă încercările de a înlocui bromura de argint, ale cărei proprietăți fotosensibile erau cunoscute încă de la alchimiștii evului mediu, cu alte săruri metalice, cum ar fi cele de cupru, fier, plumb etc., nu au dat rezultate, în schimb, în alte domenii se conturează deja cîteva direcții promițătoare. Este

vorba, în primul rînd, despre electrofotografie. În cadrul acestui procedeu se utilizează un material fotoconductor — care poate fi de natură anorganică sau un polimer organic — ce posedă o rezistență electrică suficient de ridicată pentru a-și conserva în timp încărcătura electrostatică. Într-o primă fază, „filmul" ce conține acest material este încărcat electronegativ în camera obscură. La expunere, datorită energiei radiante, zonele iluminate se descarcă proporțional cu reflexia, în timp ce cele neexpuse rămîn intacte. Pe film s-a format deja o imagine latentă ce trebuie numai fixată și vizualizată. Operațiunea poate avea loc direct pe suportul imaginii, printr-un simplu contact cu o soluție ce conține pigmenți colorați încărcați pozitiv. Aceștia vor fi atrași de zonele ce și-au păstrat încărcătura electronegativă, proporțional cu sarcina acestor suprafețe. Pe locurile iluminate, datorită dispariției încărcării electrice, nu se va depune colorant deloc sau în cantități foarte mici. Desigur, imaginea poate fi „developată" și prin pulverizarea unui strat subțire de pulbere colorată solidă, ce se va repartiza după același principiu. Colorantul este în final impregnat definitiv în suport cu ajutorul căldurii.

Metoda electrofotografiei este utilizată deja pe scară destul de largă în xerografiere, unde cîmpul electric al unei imagini este transferat pe o coală de hîrtie sau pe o placă offset, fiind apoi vizualizat cu ajutorul unui colorant specific. Aceeași tehnică se folosește și pentru înregistrarea imaginilor obținute cu ajutorul razelor X. Pentru laboratoare, ca și pentru fotocopierea materialelor documentare, procedeul menționat este de un interes deosebit, avînd perspective dintre cele mai favorabile. Din păcate însă, clișeele cu imagini mai complexe nu au nici pe departe calitatea celor pe bază de argint. Pe de altă parte, aparatele de fotografiat ce ar funcționa pe acest principiu ar trebui să dispună, pentru încărcarea fiecărei „plăci", de o puternică sursă de electricitate.

O altă posibilitate o reprezintă folosirea efectelor pe care lumina le produce asupra modului în care se desfășoară diferitele reacții chimice. Acesta este, spre exemplu, cazul fotoreticulării. Despre ce este vorba? Pe un suport obișnuit (hîrtie, de exemplu) sau neconvențional (plăci ceramice, metalice etc.), funcție de utilizarea ulte-

rioară a fotografiei, se depune un strat subțire de polimeri ce conțin în lanțul lor macromolecular un număr important de duble legături între atomii de carbon ce-l constituie. La expunere, datorită energiei transmise de radiația luminoasă, aceste duble legături, mult mai instabile, se desfac. Radicalii formați se unesc între ei. În locurile respective se creează o încrengătură tridimensională ce cuprinde catene reticulate, „împîslite" în toate direcțiile. Desigur, această modificare de structură este însoțită și de o schimbare a gradului de solubilitate sau a temperaturii de fuziune a polimerului. Iată deci că sînt găsite și modalitățile de developare a imaginii latente formate. Un solvent adecvat ales va îndepărta polimerul nereticulat, deci neimpresionat. Cît despre vizualizarea imaginii, ea va putea fi efectuată prin absorbția în porii masei reticulate a unui colorant corespunzător. Fixarea se va face, desigur, tot prin încălzire.

În chimia modernă se cunosc însă și substanțe ce-și modifică culoarea sub acțiunea luminii. Asemenea substanțe fotocrome sînt foarte numeroase. Cercetătorii au investigat proprietățile a nu mai puțin de 20 000 de asemenea compuși organici. Dintre aceștia, unii dintre cei mai interesanți par să fie spiropiranii, care spre deosebire de alte substanțe din această clasă, își conservă proprietățile de fotosensibilitate nu numai în stare solidă, ci și în soluție. Faptul este de o importanță deosebită pentru fabricarea filmelor neargentifere pe suprafața cărora colorantul poate fi depus în strat uniform, odată ce a fost încorporat într-un liant adecvat.

Care este modul de acțiune al spiropiranilor? Acești compuși sînt, de fapt, molecule organice heterociclice ce conțin, în afara atomilor de carbon, și atomi de oxigen și azot. În mod obișnuit ei sînt incolori. Dacă însă aceste substanțe sînt expuse la lumină, legătura dintre atomul de carbon și cel de oxigen se rupe. Molecula nu mai este un ciclu închis, ci are o structură deschisă, în cadrul căreia între atomul de azot încărcat pozitiv și cel de oxigen, cu sarcină negativă, o pereche de electroni se află în stare de rezonanță. Această oscilație rezonantă provoacă absorbția unor anumite frecvențe din spectrul vizibil al luminii, fapt ce duce la apariția culorii. Ea diferă funcție de prezența unora sau altora dintre grupările chimice prezente în moleculă.

Se poate deci obține direct, printr-o simplă expunere, imaginea, colorată a unui obiect? Totul ar fi prea frumos dacă situația ar fi atît de simplă. Molecula „deschisă", merocianina, are tendința de a reveni la forma ciclică, incoloră. Pentru a preveni acest proces, este nevoie de prezența unui agent stabilizator — alumina, oxidul de titan sau un semiconductor. Pe de altă parte, pentru a fixa definitiv imaginea, este nevoie ca atomul de azot încărcat pozitiv să cedeze unui acceptor gruparea metilică. Iată de ce un film de acest gen va cuprinde un strat spiropiranic, unul semiconductor și unul de acceptor pentru grupările metilice, totul înglobat într-un liant potrivit. Vizualizarea se va putea face, după expunere, prin acțiunea unor săruri metalice ce vor reacționa numai cu una dintre formele moleculei pentru a forma produși stabili, colorați. Dacă reacția are loc cu merocianina, se formează negativul, iar dacă ea decurge cu spiropiranul apare direct pozitivul.

Procedeul descris este însă abia la începuturile studierii și experimentării sale. În prezent se caută un spiropiran cît mai sensibil, un stabilizator și un acceptor cît mai eficient, un liant cît mai potrivit. Rezolvarea acestor aspecte ar aduce nu numai înlocuirea argintului, ci și o finețe extraordinară a imaginilor. Într-adevăr, dimensiunile „punctelor" din care este formată aceasta ar scădea de la cele ale microcristalelor de argint rezultate din fotodescompunerea bromurii la cele mult mai reduse ale unor molecule de talie obișnuită. În aceste condiții calitatea copiilor mărite ar crește considerabil.

Viitorul aparține fotografiei electronice... susțin însă, în ciuda căutărilor și rezultatelor descrise în rîndurile de mai sus, numeroși specialiști ai domeniului. Și, oricît am fi de dispuși să acordăm încrederea noastră mult și îndelung verificatelor procedee chimice de înregistrare și redare a imaginilor, este de așteptat ca balanța să se încline, în cele din urmă, spre fotografia electronică. Argumente? Primele imagini electronice în mișcare înregistrate pe suporturi de material plastic (discuri sau clasicele benzi) prin intermediul bombardamentului cu electroni sau al fasciculelor laser au ieșit din sfera ex-

perimentelor de perspectivă. Videodiscul sau videocaseta cu filme ce poate fi vizionată pe ecranul televizorului obișnuit este o realitate tehnică palpabilă ce va deveni în curînd un procedeu comercial curent. Problema care se pune este doar transpunerea imaginii obținute cu ajutorul metodelor electronice pe clasicul suport de hîrtie. Bineînțeles, fără intervenția substanțelor argentifere.

Soluția acestei probleme deloc simple pare să fi fost găsită. Ea constă în unirea a două procedee elaborate independent unul de altul. Primul se referă la înregistrarea imaginii. Aparatul de fotografiat seamănă în acest caz mai mult cu un calculator de buzunar cu ecran încorporat. Pe acest ecran se formează de altfel imaginea vizată. Ea este analizată apoi punct cu punct și înregistrată, după o codificare numerică a semnalelor, pe memoria de care dispune „camera". Modulul utilizat poate fi înlocuit apoi cu un altul „neexpus", iar operația repetată. „Clișeul" însuși poate fi afișat, la dorință, fie pe un ecran de vizionare, fie pe ecranul aparatului, unde el mai poate suferi îmbunătățiri. Astfel, „fotograful" are la dispoziție cîteva butoane cu care poate doza mai bine distribuția culorilor, luminozitatea, contrastul etc. Abia după ce totul este aranjat de o manieră convenabilă, operatorul comandă înregistrarea în memoria electronică a imaginii perfect ajustate. Ea poate fi apoi reluată și vizualizată ori de cîte ori acest lucru este dorit.

Cel de-al doilea procedeu se referă la redarea imaginii electronice pe suportul de hîrtie. Imaginea color primită de aparatul electronic de fotografiat este descompusă de către o prismă dublă, situată în spatele obiectivului, în trei imagini, pentru cele trei culori de bază: galben, roșu-magneta și albastru. Analiza analogică a celor trei imagini furnizează un complex de semnale numerice ce sînt înregistrate pe o casetă magnetică. Întreaga operațiune durează a treizecea parte dintr-o secundă.

Imprimarea propriu-zisă are loc printr-un procedeu ce se apropie oarecum de cele tipografice. Hîrtia și un film ce conține, între două folii de material plastic, un număr însemnat de celule dispuse alternativ, umplute cu cerneală în cele trei culori de bază, sînt înfășurate pe un tambur ce se rotește cu o viteză de 600 de ture pe minut. Un dispozitiv format din trei ace perforatoare înțeapă minusculele pungi de cerneală colorată în conformitate cu semnalele furnizate de banda magnetică pe care este înregistrată imaginea. După un baleiaj complet, care durează 60 de secunde, hîrtia conținînd imaginea color cu dimensiunile de 75×75 mm este ejectată automat din aparat.

Desigur, nici unul dintre procedeele neargentifere descrise nu este, deocamdată, nici măcar în pragul etapei comerciale. Totuși, date fiind numeroasele căi ce se întrevăd, putem spera că mult-îndrăgita noastră pasiune, fotografiatul, va depăși cu bine iminenta criză a „metalului alb".

2. Chimia cu consum redus de energie

De la începuturile sale și pînă astăzi, chimia nu a reușit să se dispenseze de căldură. Nu se poate imagina, deocamdată, un laborator sau o uzină chimică lipsite de surse de căldură. Utilitatea acesteia este în prezent elucidată: prin încălzirea moleculelor se produce ruperea unor legături interne. Iau naștere așa-numiții *„radicali liberi"* — specii mult mai active decît moleculele inițiale — care se combină între ei sau cu alte molecule prezente în mediul de reacție, formînd compuși chimici noi.

Nu s-ar putea renunța însă la acest costisitor proces care este încălzirea substanțelor chimice? Cercetări relativ recente au răspuns afirmativ la această întrebare. Legăturile intramoleculare pot fi rupte și „la rece", *cu ajutorul radiațiilor*, bombardînd molecula cu particule alfa sau beta sau iradiind-o cu raze gama. Oricare ar fi sursa radioactivă, „proiectilul" cu ajutorul căruia se activează o moleculă este în cele din urmă un electron (radiațiile gama duc la același rezultat prin intermediul efectului fotoelectric). Acesta interacționează cu învelișul electronic al „țintei", ionizînd-o sau numai excitînd-o, adică trecînd-o într-o stare energetică superioară. În aceste condiții, ea va avea o reactivitate chimică mult mărită, fapt ce se va concretiza în amorsarea reacției.

Mai mult însă, iradierea moleculelor reactante nu permite numai transmiterea energiei de activare necesară declanșării reacției, ci și controlul ei. Aceasta deoarece, funcție de intensitatea radiațiilor, se poate stabili numă-

rul de radicali liberi formați și deci viteza cu care decurge reacția respectivă. În plus, elementul care transmite energia de activare și care controlează desfășurarea procesului chimic nu este o substanță adăugată în mediul de reacție, ca în cazul catalizatorilor, care pot impurifica produșii finali, ci simple particule subatomice. Iată de ce chimia cu ajutorul radiațiilor reprezintă un procedeu revoluționar, ea dispensîndu-se de activarea termică și de controlul catalitic al reacțiilor.

Rămîne însă de clarificat o problemă: nu cumva produsele de reacție ar putea deveni radioactive, periclitînd sănătatea celor ce le-ar folosi? Această obiecție a fost destul de repede îndepărtată. S-a constatat că radiații cu energii interioare cifrei de 10 MeV nu pot atinge nucleul unui atom, datorită efectului de ecranare pe care îl exercită învelișul electronic.

Baza teoretică a chimiei cu ajutorul radiațiilor odată cunoscută, aspectele practice ale tehnologiilor de fabricație nu au întîrziat nici ele să fie stabilite. S-a constatat astfel că cele mai indicate radiații sînt electronii, accelerați sau nu, precum și razele gama. Razele X ar fi prea scumpe, la producerea lor risipindu-se inutil o cantitate însemnată de căldură, iar fluxurile de neutroni prezintă pericolul de a atinge nucleele atomilor iradiați, dat fiind că ei nu au sarcină electrică.

Sursele pentru asemenea radiații sînt astăzi la îndemîna tehnologilor. Astfel, pentru radiații gama există surse pe bază de radioelemente obținute artificial, cum sînt cobaltul 60 și cesiul 137. Primul se prepară în reactoarele nucleare prin iradierea cobaltului natural cu greutatea atomică 59. Cobaltul 60 astfel obținut este radioactiv, el emițînd radiații gama cu energii de pînă la 1,3 MeV. Sursa are o bună stabilitate, perioada sa de înjumătățire fiind de 5 ani. Cel de-al doilea radioelement, cesiul 137, rezultă în procesul de fisiune, cu alte cuvinte, este un subprodus al energeticii nucleare. La rîndul lor, acceleratoarele de electroni cunosc în prezent o multiplicare și o diversificare largă a tipurilor și puterilor. În condiții de bună economicitate se produc betatroane ai căror electroni ating energii de 10 MeV și al căror fascicul are lărgimi de pînă la 2 m.

Ambele radiații sînt ușor de controlat. Cum intensitatea iradierii depinde de distanța dintre sursă și țintă, tehnologului radiochimist nu-i rămîne decît să apropie sau să depărteze sursa de radiații de reactorul chimic pentru ca să producă mai mulți sau mai puțini radicali liberi, grăbind sau încetinind reacția dorită.

Cu ajutorul unei asemenea tehnici se pot produce și dirija numeroase reacții. Cel mai important beneficiar pare însă să fie chimia macromoleculelor, unde mecanismul reacțiilor de polimerizare — prin intermediul cărora se obțin materialele plastice, firele și fibrele chimice, cauciucurile sintetice — sînt caracterizate prin formarea radicalilor liberi.

Într-adevăr, monomerul organic cuprinde întotdeauna în molecula sa legături covalente între atomii de carbon și cei de hidrogen, oxigen, azot, halogeni etc. Pentru a obține un radical liber este nevoie de ruperea unei asemenea legături, lucru ușor de realizat prin intermediul iradierii. Dar, odată format radicalul liber, se declanșează o serie întreagă de reacții — așa-numitele „reacții în lanț“ — care duc la transformarea în polimeri a unei mari cantități de materie.

Polimerizările industriale nu vor mai trebui, așadar, declanșate prin încălzire, economisindu-se anual, cu ajutorul radiațiilor, la producția considerabilă de materiale plastice înregistrată pe plan mondial, milioane de tone combustibil? Departe de a fi numai o ipoteză, o asemenea perspectivă apare ca perfect tangibilă. Mărturie în acest sens stau creșterile constante de producție înregistrate în diferite țări ale lumii care folosesc asemenea tehnologii. În S.U.A., de exemplu, industria radiopolimerilor cunoaște un ritm de dezvoltare de circa 25 la sută anual. Japonia își dezvoltă și ea un puternic sector de chimie cu ajutorul radiațiilor.

Avantajele radiochimiei polimerilor industriali nu se opresc însă numai aici. Un procedeu deosebit de atractiv apărut în acest domeniu îl reprezintă grefajul radiochimic. Despre ce este vorba? Dacă se iradiază un amestec fizic de poliester și acid acrilic ia naștere un nou material plastic. El păstrează calitățile de rezistență ale poliesterului, dar le capătă și pe cele ale acidului acrilic, care este hidrofil, nu se încarcă electrostatic și nu-și

modifică în timp culoarea. Ce s-a întîmplat? Particulele iradiante au rupt unele dintre legăturile covalente ale poliesterului, formînd radicali liberi. Aici s-au grefat molecule de monomer (acid acrilic), care prin polimerizare au format alături de vechea macromoleculă, legat solidar de ea, un nou lanț molecular adiacent. Un asemenea aliaj, numit copolimer, se caracterizează prin îmbinarea proprietăților celor doi componenți. S-a realizat astfel, fără consum de energie termică, un material complet nou.

Folosirea acestei metode deschide perspective fascinante, chimiștii avînd posibilitatea să obțină materiale noi, hibride, cu proprietăți spectaculoase, alese în funcție de nevoile specifice fiecărui domeniu. Prin radiografare se poate copolimeriza, de exemplu, polietilena cu stirenul, se pot obține lentile de contact din rășini siliconice hidrofile, perfect suportabile de organism etc.

Procedeul poate fi aplicat însă și unor produse finite, unele obținute pe cale naturală. Astfel s-a reușit radiografarea unor monomeri sintetici pe fibrele de bumbac. Textilele țesute din asemenea fire sînt nesifonabile, dar și permeabile pentru apă și aer, ușor suportate de piele etc. Pe aceeași cale se profilează fabricarea de hîrtie cu rezistență mecanică mult sporită.

În sfîrșit, prin radiografare s-ar putea fabrica în viitor înlocuitori de piele care, alături de rezistența mecanică, să aibă permeabilitate la aer și o bună hidrofilie. O posibilitate mai îndepărtată o reprezintă polimerii grefați biologic, care ar fi biocompatibili și s-ar preta la confecționarea de proteze sau la uzul farmaceutic.

O altă direcție, extrem de promițătoare, de intervenție a radiochimiei industriale o constituie reticularea macromoleculelor. Se știe că polimerii sînt formați din lanțuri carbonice mai mult sau mai puțin întrepătrunse. Între ele nu există însă legături chimice. Supuse la acțiunea radiațiilor ionizante, macromoleculele suferă rupturi ale legăturilor lor covalente. Datorită reactivității radicalilor liberi formați se stabilesc noi legături care unesc de data aceasta polimerii între ei. În locul unor molecule izolate, materialul devine, de fapt, un ansamblu legat chimic, asemenea unei rețele.

Proprietățile unor astfel de polimeri reticulați sînt foarte convenabile: rezistență mecanică mult crescută,

infuzibilitate, insolubilitate, precum și așa-numitul „efect-memorie". El constă în revenirea la dimensiunile și forma inițială, după încălzire și deformare, deasupra unui punct termic critic. Elementele termoretractabile din polietilenă reticulată, care pot face uneori inutilă sudura sau radiovulcanizarea cauciucurilor naturale și artificiale în starea de latex, reprezintă cîteva aplicații pe cît de avantajoase sub aspect energetic, pe atît de interesante din punctul de vedere al performanțelor conferite materialelor sintetice. În sfîrșit, prin radioreticulare se vor putea pune la punct lacuri și smalțuri obținute nu în cuptoare, ci „la rece".

Combinarea grefării cu radioreticularea chimică a unor materiale clasice conduce la apariția unor materiale cu proprietăți surprinzătoare. În lemnul impregnat cu materiale plastice și monomeri și supus apoi iradierii se formează legături chimice puternice între fibrele celulozice și macromoleculele reticulate cuprinse în interstiții. Ca urmare, se îmbunătățesc rezistența mecanică, cea la agenții atmosferici și chiar aspectul estetic. Betoanele cu polimeri reticulați au și ele o rezistență mecanică mult mărită și sînt necorodabile, fapt ce le face extrem de indicate pentru construcții marine.

Radiațiile nucleare nu sînt însă singurul agent capabil să ridice reactivitatea substanțelor la temperaturi obișnuite. Cele electromagnetice, mai precis cele luminoase, și, dintre acestea, în special cele laser pot juca cu brio același rol.

În sinteza organică, domeniul de elecție al aplicațiilor laserului este legat, în primul rînd, de reacțiile fotochimice, domeniu extrem de variat și cu multiple aplicații în toate ramurile tehnologiilor chimice moderne, inclusiv în sinteza de medicamente. Principalele avantaje ale laserului față de sursele clasice de lumină constau în ridicarea conversiei și randamentului fotochimic, o selecție mult mai riguroasă a speciilor excitate și, în fine, o micșorare a proporției de produși secundari. Toate aceste avantaje, plus faptul că se pot obține în anumite condiții reacții „curate", cu randamente ridicate, au generat numeroase studii.

Dintre principalele reacții fotochimice ce pot fi realizate prin iradiere cu laserul amintim: reacțiile de diso-

ciere, reacțiile de reducere-fotosinteză, reacțiile de oxidare, reacțiile de izomerizare ale compușilor nesaturați, reacțiile de reorganizare fotochimică ale moleculelor organice și reacțiile de sinteză asimetrică. Nu vom insista asupra tuturor reacțiilor realizabile pe această cale. Le vom trece doar pe scurt în revistă, comentînd cele mai importante categorii sub aspectul posibilităților potențiale de aplicare și valorificare din acest punct de vedere.

În primul rînd trebuie menționată reacția de fotosinteză. Abordată inițial, în vederea elucidării mecanismului său, de către Calvin și școala sa, ea va intra astăzi, datorită laserelor și posibilităților acestora de a furniza fluxuri luminoase de energie ridicată, în rîndul proceselor posibile a fi aplicate industrial în vederea obținerii de zaharuri și eventual de proteine sintetice.

O altă reacție fotochimică realizabilă cu ajutorul laserelor este cea de izomerizare *trans-cis*. Reacția dă posibilitatea obținerii unor izomeri *cis* sau *trans* (de obicei *cis*) inaccesibili sau greu accesibili pe alte căi.

Reacțiile de reorganizare fotochimică sînt numeroase și extrem de interesante pentru cercetători, atît sub aspect practic, cît și teoretic. Dintre ele, de o deosebită importanță sînt reacțiile de transpoziție și cele de cicloadiție. Este de menționat că în această clasă studiul reacțiilor interzise, efectuate fotochimic, folosind laserul, oferă perspective deosebite. În sfîrșit, realizarea de sinteze asimetrice (adică de molecule optic-active) folosind lumina polarizată reprezintă, de asemenea, un domeniu de mare interes.

Nu vom încheia această enumerare sumară fără a menționa posibilitățile de folosire a laserelor în obținerea unor citostatice și în domeniul chimioterapiei cancerului. Un exemplu ilustrativ în acest sens îl oferă studiul iradierii complecșilor DNA — antibiotice anticanceroase. De exemplu, daunomicina (ca și adriamicina) este un antibiotic din clasa antraciclinelor cu proprietăți antileucemice marcante. Mecanismul lor de acțiune presupune inhibarea RNA — polimerazei — DNA dependente. Baza materială a acestei inhibiții o constituie formarea de complecși între DNA și daunomicină.

Se știe că eficiența medicamentelor de tipul daunomicinei depinde de tăria legăturilor chimice din cadrul

complexului DNA-antibiotic. Or, cel mai indicat mijloc de sporire a eficienței îl constituie formarea de legături covalente. Practic, s-a demonstrat că prin iradierea acestui complex la 475 nm se pot induce legături covalente între antibiotic și DNA.

Din păcate, sursele obișnuite de lumină vizibilă nu oferă intensitatea radiantă necesară inducerii unui număr suficient de legături covalente spre a permite exploatarea curentă a acestei metode. Folosirea laserului oferă posibilități mult mai concrete de valorificare. Printre avantajele oferite de sursele de lumină coerentă la 475 nm se numără ridicarea randamentului de inducere a legăturilor covalente, posibilitatea de determinare a structurii complecșilor, un intens efect fotodinamic, precum și realizarea unor molecule citostatice cu eficiență sporită, selectiv preluate de celulele maligne.

În realizarea de tehnologii chimice capabile să funcționeze în condiții energetice blînde, cel mai important aliat rămîne totuși catalizatorul. Într-adevăr, cataliza, ca disciplină relativ tînără, a avut și are un rol dominant în dezvoltarea industriei chimice, atît prin aspectele teoretice, dar mai ales prin cele practice. Se poate afirma fără exagerare că, fără aportul catalizei, progresul omenirii ar fi fost frînat într-o mare măsură. Fără descoperirea catalizatorilor industriali nu ar fi fost posibilă obținerea îngrășămintelor chimice, în primul rînd a amoniacului, cît și a pesticidelor, produse atît de necesare sporirii recoltelor agricole. Utilizarea catalizatorilor de alchilaluminiu complexați a condus la realizarea polimerizării stereospecifice a cauciucurilor sintetice și a unor materiale plastice. De asemenea, fără aportul catalizatorilor nu s-ar fi realizat carburanții cu cifre octanice ridicate, care contribuie, într-o mare măsură, la dezvoltarea transportului motorizat, și nu s-ar fi obținut totodată hidrocarburile aromatice, materii prime de bază pentru sinteza firelor și fibrelor chimice, a medicamentelor, coloranților etc.

Catalizatorii și procesele catalitice cunosc o extindere din ce în ce mai mare. Se apreciază că, pe plan mondial, aproximativ 80 la sută din produsele industriei chimice se obțin prin procese catalitice, iar circa 60 la sută din procesele de prelucrare a țițeiului — industrie considerată

în trecut ca cea mai conservatoare — se realizează cu ajutorul catalizatorilor. S-a evaluat că aproximativ 90 la sută din tehnologiile chimice de dată recentă au la bază procese catalitice.

Prin aplicarea catalizatorilor este posibil să se valorifice integral materiile prime, să se introducă în circuitul economic subprodusele și reziduurile industriale, în scopul obținerii unor produse finite cu o valoare de întrebuințare mult mai mare decît printr-o prelucrare redusă. Gradul înalt de transformare chimică a materiilor prime luate în lucru în produse utile este caracteristica de bază a catalizatorilor industriali contemporani. Ei permit realizarea unor procese industriale în flux continuu, automatizate și de mare eficiență economică. Interesul enorm pe care îl prezintă cercetările dedicate atît perfecționării catalizatorilor deja existenți, cît și elaborării de noi catalizatori este justificat de ponderea scăzută a prețului catalizatorului în prețul produsului finit, de reducerea drastică a cheltuielilor energetice necesare. Ca exemplu ne mărginim la compararea indicelui de valorificare a materiei prime petroliere în prelucrarea catalitică și în cea termică. În primul caz, acest indice este cu circa 70 la sută mai mare decît în cracarea termică (2,2 față de 1,3).

Una dintre direcțiile de intervenție de maximă actualitate ale domeniului se referă la elaborarea unor noi tipuri de catalizatori, în vederea reducerii consumului specific de materie primă pe tona de produs finit, dar care să aibă, în același timp, o viață și o selectivitate mărite. Prin aceste calități se asigură reducerea reacțiilor secundare care impurifică produsul finit și, extrem de important sub aspect energetic, transformarea unor reacții endoterme (ce au loc cu absorbție de căldură) în reacții exoterme (care decurg cu degajare de căldură). Astfel, acidul acetic, una din materiile prime pentru obținerea acetatului de vinil și a esterilor acetici, se obține prin oxidarea acetaldehidei, care, la rîndul său, se poate fabrica din materii prime și cu catalizatori diferiți. Una dintre metode folosește ca materie primă acetilena, care se hidratează în prezența unui catalizator de mercur, iar a doua metodă utilizează etilena și un catalizator de paladiu. Ultimul procedeu este mai convenabil din punct

de vedere economic, deoarece utilizează materii prime mai ieftine (etena), spre deosebire de primul, care utilizează materii prime scumpe (acetilenă și mercur).

O metodă nouă de obținere industrială a acidului acetic, care se extinde continuu în ultima vreme datorită condițiilor energetice foarte favorabile, constă în reacția de carbonilare (introducerea monoxidului de carbon într-un substrat organic) a alcoolului metilic în prezența unui catalizator complex de rodiu, la presiune de numai cîteva atmosfere și temperatură moderată.

Instalațiile industriale de alcool metilic construite în ultimii ani utilizează pentru reacția monoxidului de carbon și hidrogen, desfășurată la presiuni de 50—100 at și temperaturi de 250—300 °C, un catalizator nou, format din oxizi de cupru, zinc și aluminiu, spre deosebire de vechiul procedeu, care lucra la presiuni de 350—400 at și temperaturi de 300—400 °C. Datorită acestor performanțe a fost posibil să se mărească capacitatea instalațiilor de alcool metilic cu reducerea cheltuielilor de fabricație.

Prin utilizarea unor noi tipuri de catalizatori, mai ales pentru dehidrogenarea unor hidrocarburi la monomeri folosiți pentru obținerea unor cauciucuri sintetice și materiale plastice (butadienă, izopren, stiren etc.) se profilează posibilitatea înlocuirii dehidrogenării catalitice — proces endoterm ce are loc la temperaturi în jur de 600 °C, cu selectivități și randamente mici — cu oxidehidrogenarea catalitică exotermă. Acest fapt va avea ca efect scăderea temperaturii de reacție — deci a consumurilor de energie —, precum și obținerea concomitentă a măririi selectivității și randamentului procesului.

În vederea reducerii costurilor de fabricație a unor polimeri de mare tonaj ca poliolefinele (polietilena și polipropilena) s-au elaborat catalizatori ultrarapizi dispersați, care se încorporează în masa polimerului. Prin aceasta procesul se simplifică, eliminîndu-se fazele de separare și spălare a polimerului de catalizator. De asemenea, recent s-a pus la punct o nouă tehnologie de fabricare a polietilenei, prin care se realizează o reducere a investițiilor cu 50 la sută și economii de energie de 75 la sută. În acest procedeu se utilizează etilena gazoasă, iar catalizatorul se află în „pat fluidizat", adică

fin pulverizat ca suspensie în masa gazoasă. Se lucrează în acest fel la numai 7—21 at, spre deosebire de procedeul de înaltă presiune, unde se folosesc 2 000—2 500 at.

Tendințele noi de ridicare a eficienței catalizatorilor sînt puse însă cel mai bine în evidență de încercările de perfecționare a sintezei amoniacului pe care numeroși specialiști o consideră ca cea mai mare provocare adresată vreodată chimiștilor. De ce?

Temperaturi de 450 °C și presiuni de 600 de atmosfere. Acestea sînt condițiile energetice în care moleculele de azot reacționează cu cele de hidrogen pentru a forma amoniacul. Și aceasta în prezența unor catalizatori de fier și molibden, fără de care cantitatea de căldură transmisă reactanților, precum și presiunea la care ei ar trebui supuși pentru a se uni în molecula de amoniac ar fi considerabil mai mari. Dealtfel, pentru „coborîrea" pragului energetic necesar inițierii reacției de sinteză a amoniacului, chimistul german Haber a primit Premiul Nobel pe anul 1918.

De la data apariției procedeului și pînă în prezent nu s-a schimbat aproape nimic sub raport energetic în fabricarea unuia dintre cele mai răspîndite și mai necesare produse ale industriei chimice, materie primă pentru obținerea îngrășămintelor, explozivilor, coloranților etc.

Or, comparativ cu procesele biologice în care azotul atmosferic este redus la amoniac, tehnologiile industriale reprezintă o enormă risipă de energie. Într-adevăr, în organismul unor bacterii sau al unor alge primitive, reacția are loc la temperatura și presiunea mediului ambiant. Care este secretul acestei eficiențe deosebite?

Din punct de vedere termodinamic, azotul s-ar combina cu hidrogenul în mod spontan, ba chiar s-ar pune în libertate o cantitate însemnată de energie. Din păcate, în natură reacția nu se petrece între atomii celor două elemente, ci între moleculele lor. Or, se știe, legătura covalentă dintre cei doi atomi de azot din molecula acestuia este extrem de stabilă, azotul molecular comportîndu-se ca un gaz inert. Pentru a declanșa reacția este nevoie de o cantitate substanțială de energie — așa-numita energie de activare sau de inițiere. Ea se materializează în temperaturile și presiunile considerabile menționate.

Și totuși, am văzut, reacția este posibilă, în mediul biologic, cu ajutorul unor enzime numite nitrogenaze, la temperaturi și presiuni obișnuite. De ce?

Studiile de structură moleculară au arătat că anumite părți ale nitrogenazei se comportă ca niște adevărați „centri activi", prin intermediul cărora molecula de biocatalizator se combină în cadrul unei reacții parțiale cu cea a reactantului, mai precis cu cea a azotului. Coincidență stranie, acești centri activi nu sînt altceva decît atomii de fier și, mai ales, de molibden conținuți de enzimă. Folosind catalizatorii metalici respectivi, Haber nu a făcut, așadar, altceva decît să redescopere un brevet al naturii, aplicîndu-l însă într-o formă extrem de imperfectă.

Cum se explică deci acțiunea catalitică a celor două metale? Căutîndu-le în Tabloul periodic al elementelor, vom observa faptul că ambele aparțin grupei metalelor tranziționale, în care electronii completează pe rînd nu ultimul, ci penultimul nivel energetic. În acest fel ele au o mare suplețe electronică, trecînd cu ușurință prin mai multe stări de valență. Mai mult, prezența unor orbitali liberi, neocupați de electronii proprii le face accesibile formării unor complecși de coordinare în care atomi, ioni, molecule sau grupări moleculare se servesc de metalul tranzițional pentru a-și „parca" electronii.

Aceste combinații de coordinare se formează ușor, fără aport energetic ridicat, de cele mai multe ori chiar spontan. Dar, în același timp, complecșii de coordinare reacționează mult mai ușor cu un al treilea component chimic prezent în mediul de reacție deoarece starea lor energetică este mult mai înaltă. În acest fel, prin intermediul treptei pe care o constituie reacția primei substanțe cu enzima, energia de activare a fost practic coborîtă extrem de mult, iar combinarea celor doi reactanți se face ușor, cu regenerarea biocatalizatorului. Acesta din urmă este gata să participe la un nou ciclu de reacție.

Cunoașterea acestor date ridică, desigur, în mod firesc, întrebarea dacă nu s-ar putea folosi enzimele în sinteza fără aport energetic însemnat a diferitelor substanțe chimice. Studii recente confirmă deja această îndrăzneață ipoteză.

Astfel, cercetări întreprinse de specialiștii Universită-

ții Stanford din California, S.U.A., au permis elaborarea unui sistem de sinteză a amoniacului prin intermediul unei metode de tip biologic. Reacția are loc între un complex al azotului cu molibdenul și un agent reducător, care nu este altceva decît o moleculă de ferodoxină. Prin unirea lor ia naștere un complex molecular molibden-azot-fier, care, într-o a doua etapă, eliberează azotul redus la amoniac cu reformarea catalizatorului. Fără a da amănunte cu privire la structura catalizatorului folosit, autorii susțin că ea este similară cu cea a enzimelor naturale. În orice caz însă, subliniază ei, efectul este același de vreme ce sinteza amoniacului se petrece la temperatura și presiunea mediului ambiant.

Înseamnă acest lucru că în curînd greoaiele instalații ale fabricilor de amoniac, cu compresoarele și cuptoarele lor, vor fi înlocuite de simple reactoare unde sinteza va decurge spontan, sub acțiunea enzimelor izolate din materialul biologic sau obținute pe cale artificială? Este, fără îndoială, mult prea devreme pentru o asemenea schimbare revoluționară. Dar nimic nu ne împiedică să anticipăm în această direcție reduceri drastice ale aportului energetic prin perfecționarea catalizatorilor, pe baza copierii brevetelor naturii, după modelul oferit de enzime.

Mai mult încă. Sinteza amoniacului poate deveni numai unul dintre multiplele exemple de tehnologii chimice cu ajutorul enzimelor sau a „copiilor" artificiale mai mult sau mai puțin apropiate ale acestora.

Cum metalele tranziționale oferă numeroase posibilități de combinare, cum diferiți compuși chimici pot forma cu aceștia molecule complexe, asemănătoare ca structură enzimelor, se poate prevedea posibilitatea de intervenție a catalizei enzimatice în foarte multe direcții ale chimiei.

Un beneficiar imediat l-ar putea constitui petrochimia. Se știe că după o distilare oricît de perfectă, fracția petrolieră obținută este departe de a fi pură din punct de vedere chimic. Ea constituie, de fapt, un amestec de hidrocarburi cu puncte de fierbere apropiate, dar destul de diferite unele de altele. Prin intermediul catalizei enzimatice, atît de specifice, complexul organometalic poate „recunoaște" specia moleculară dorită și facilita reacția

propusă în condiții energetice extrem de avantajoase. Prin mijloace „clasice", o asemenea evoluție ar fi atît de complicată încît ar deveni nerentabilă, dacă nu chiar imposibil de realizat.

Obținerea acetaldehidei pornind de la etilenă cu ajutorul unor complecși organici de tip enzimatic ai paladiului și cuprului este un alt exemplu. Polimerizarea butadienei, sinteza aldehidelor sau a alcoolilor — pe baza complecșilor cobaltului — conversia metanolului în acid acetic — cu catalizatori de tip biologic ai rhodiului — completează seria reacțiilor de mare interes industrial ce pot avea loc în condiții energetice deosebit de favorabile.

În sfîrșit, studiul moleculelor complexe organometalice care sînt enzimele a mai relevat un aspect extrem de interesant. În natură, pentru fiecare reacție biochimică există o anumită enzimă care catalizează numai acel proces. Cum se explică această selectivitate extraordinară? Cercetările au arătat că o enzimă posedă o asemenea configurație spațială, cu alte cuvinte este „construită" din atomii și grupările sale submoleculare într-un asemenea mod încît nu permite accesul la „centrii activi" de cataliză decît moleculelor reactante pentru care ea este destinată. Ea este, într-un anumit fel, o „cheie" ce se potrivește numai într-o singură „broască".

Pornind de la această constatare, oamenii de știință s-au gîndit să imite natura, sintetizînd macromolecule ce pot servi drept refugiu pentru anumiți atomi sau molecule. Odată capturați în interstițiile moleculelor de tip enzimă, ionii metalici sau diferitele specii moleculare de interes pentru tehnolog pot fi separați dintr-un amestec și obținuți în stare ultrapură sau pot fi supuși unor reacții dorite, fiind combinați numai cu acel reactiv care a fost ales. În acest fel se pot realiza performanțe de neimaginat în chimia clasică, cu un consum redus de energie.

Imitarea catalizatorilor naturali sau chiar utilizarea directă a acestora în cadrul catalizei enzimatice a condus rapid la apariția ideii îndrăznețe, revoluționare a realizării biotehnologiilor chimice. Asemenea procedee au multiple avantaje, printre care la loc de frunte se înscrie acela că ele decurg la temperaturi și presiuni normale, specifice organismelor vii. De altfel, biotehnologiile chi-

mice implică prezența unor organisme vii ca elemente indispensabile ale procesului de producție: bacteriile.

Astăzi, ideea de a utiliza microorganismele ca „muncitori" specializați în sinteza uneia sau alteia dintre substanțele — de multe ori de o complexitate deosebită — necesare omului a depășit stadiul de simplu proiect. Cultivate în instalații speciale unde li se asigură în mod riguros condițiile optime de viață, ele produc, în absența complicatelor și costisitoarelor utilaje specifice industriei chimice, cu viteze de lucru extraordinare, dată fiind rapiditatea înmulțirii bacteriilor, compuși chimici de mare utilitate pentru agricultură, alimentație, medicină, metalurgie, energetică, combaterea poluării etc.

Începutul acestui uimitor proces avea loc în anul 1956, în Japonia, unde o echipă de cercetători a izolat o bacterie capabilă să sintetizeze acidul glutamic, „ingredient" important în industria alimentară (el conferă preparatelor o pronunțată aromă de carne) și chimică de sinteză fină. „Corynebacterium glutamicum" nu numai că sintetiza prețioasa substanță, dar o și elimina în mediul înconjurător de unde era separată și purificată pe căi simple. În prezent, prin acest procedeu se obțin în lume circa 250 000 tone acid glutamic în fiecare an.

Au urmat apoi alte și alte realizări. Tot mai multe specii de microorganisme au fost obligate să lucreze în beneficiul omului, fabricînd zeci de substanțe deosebit de utile. Iată numai cîteva dintre ele. Astfel, în domeniul acizilor organici, nomenclatorul de produse al biotehnologiilor cuprinde deja aproximativ 60 de poziții. Cele mai cunoscute substanțe de acest fel sînt acidul acetic, acidul lactic sau cel citric. Utilizările lor în industria alimentară sau cea de sinteză sînt multiple. Dintre acizii nucleici cei mai însemnați sînt inozina și guanozina care, sub formă de monofosfați, sînt utilizate ca substanțe aromatizante. Producția de acizi nucleici a atins, numai în Japonia, impunătoarea cifră de 500 tone anual.

La rîndul lor, enzimele dețin și ele o pondere însemnată pe „piața" mondială a produselor obținute prin intermediul biotehnologiilor. Hidrolazele, necesare în scindarea amidonului pînă la zaharuri simple, proteazele, utilizate la argăsirea pieilor, sau pectinazele, folosite la prelucrarea fructelor, sînt numai cîteva exemple în acest sens.

În sfîrșit, o categorie extrem de importantă o constituie produsele farmaceutice cum ar fi antibioticele, vitaminele sau hormonii. Astfel, prin fermentație industrială, se obțin astăzi peste 30 de tipuri de antibiotice, atît pentru combaterea infecțiilor microbiene patogene la om, cît și pentru terapeutica veterinară, furajarea animalelor sau fitofarmacie. Dintre vitamine, cele mai cunoscute sînt vitaminele A, B_1, B_2, B_{12} și C, a căror producție atinge pe plan mondial niveluri importante. Prin combinarea unor procedee chimice cu cele microbiologice s-a reușit recent realizarea de hormoni steroizi de mare interes farmaceutic.

Un domeniu ce va fi, se pare, complet revoluționat de intervenția biotehnologiilor este cel al mineritului și metalurgiei neferoaselor, unul dintre cei mai mari consumatori de energie actuali. Aceasta deoarece s-a descoperit nu de mult faptul uimitor că microorganismele sînt capabile să extragă metalele din roci, trecîndu-le selectiv în soluție.

Astfel, *Thiobacillus ferroxidans* poate provoca dizolvarea cuprului din diferitele forme de combinații în care acesta se găsește în minereuri. Fapt deosebit de atractiv, „leșierea bacteriană" a cuprului se aplică în mod deosebit de favorabil în cazul minereurilor sărace, neeconomic de tratat prin intermediul metodelor clasice din cauza consumului prea mare de energie, sau chiar „deșeurilor" de la instalațiile de îmbogățire a minereurilor obișnuite. În acest fel, imensele halde de „steril" acumulate în decenii de exploatare minieră devin, dintr-un pericol ecologic, o nouă sursă de materii prime exploatabilă cu cheltuieli minime. De asemenea, aceeași bacterie reține cuprul și din așa-numitele „ape de mină", infiltrații ce spală în mod natural straturile de minereu și în care ionii valorosului metal, de neînlocuit încă în electrotehnică, se află la diluții extrem de mari.

Cercetările privind mineritul și metalurgia bacteriană sînt însă abia la începutul lor. În prezent, se caută noi specii de microorganisme capabile să izoleze alte metale. Cercetări recente arată că și prețiosul combustibil nuclear care este uraniul ar putea fi obținut pe aceeași cale. Fără îndoială, acest domeniu va continua să producă surprize!

Dar asemenea metode, deși intrate relativ recent în arsenalul chimiei moderne, nu formează decît partea „clasică" a biotehnologiilor. Într-adevăr, ele nu folosesc decît bacterii obișnuite, selecționate dintre cele existente în natură. Dar dacă, prin perfecționarea chimismului intim al acestor minuscule celule, s-ar reuși performanța de a le neriei genetice, o bacterie cu totul obișnuită cum este determina să producă substanțe sintetizate, spre exemplu, numai în corpul uman? Perspectivele unei asemenea intervenții ar fi de-a dreptul fabuloase. Ori, oamenii de știință au și înfăptuit un asemenea pas. Cu ajutorul ingi-*Escherichia coli* — căreia i se transferase în prealabil gena responsabilă pentru sinteza respectivă, prelevată dintr-o celulă umană — a început să prepare somatostatina, un hormon al creierului ce acționează asupra sistemului glandular. Și aceasta cu un randament inimaginabil: 100 g de bacterii sînt suficiente pentru a produce 5 mg hormon, în timp ce aceeași cantitate de substanță activă rezulta înainte abia în urma prelucrării a nu mai puțin de 500 000 de hipotalamosuri de oaie.

Pe aceeași cale s-a reușit — cu mult mai devreme decît se credea — obținerea insulinei, medicamentul indispensabil supraviețuirii bolnavilor de diabet. În prezent, cercetările sînt îndreptate în direcția sintezei cu ajutorul unor bacterii „modificate" genetic a interferonului, acea misterioasă proteină de origină celulară, capabilă să oprească infecțiile virale și să combată cu succes cancerul. Speranțele pe care le trezesc biotehnologiile sînt cu atît mai îndreptățite cu cît acest domeniu, deși abia la începuturile sale, cunoaște un avînt considerabil.

3. O industrie chimică ... ecologică?

Odată cu dezvoltarea industrială accentuată din ultimele decenii s-a conturat și pericolul poluării grave a mediului ambiant, al degradării uneori chiar ireversibile a condițiilor de viață de pe Terra. Alarmată de catastrofe ecologice generate de iresponsabilitatea și setea nemăsurată de cîștig a unor mari companii industriale, opinia publică mondială se preocupă tot mai intens de conservarea nealterată, pentru noi și urmașii noștri, a naturii planetei. Ca urmare, preocupările oamenilor de știință,

cu deosebire ale chimiștilor, s-au intensificat continuu în acest domeniu de importanță vitală. În această vastă campanie, specialiștii utilizează, cu precădere, multimilenarele „brevete" ale naturii.

Argumente? Ceea ce în prezent constituie una dintre cele mai interesante și mai pline de promisiuni direcții de cercetare ale chimiei și ecologiei moderne era un lucru cunoscut și utilizat încă din antichitate. Astăzi, ca și acum cîteva mii de ani, locuitorii din satele sudaneze de pe malul Nilului, de exemplu, pun în vase mari de lut, împreună cu cîteva mănunchiuri de plante acvatice apă luată direct din fluviu. După numai 24 de ore, apa mîloasă a Nilului devine, în urma acestui „tratament", limpede și fără nici un gust sau miros.

Obținerea în unele țări a apei potabile pe această cale ar fi putut continua să fie ignorată sau, în cel mai bun caz, privită ca o curiozitate exotică de către lumea științifică contemporană dacă problema epurării apelor reziduale, provenite din industria în dezvoltare accelerată sau din aglomerările urbane cu creșteri explozive ale secolului nostru, nu ar fi devenit atît de acută. Într-adevăr, pentru a „scăpa" de apele reziduale, se cheltuiesc anual sume uriașe. Tocmai aspectul economic al tratării apelor reziduale în adevărate uzine chimice, dotate cu utilaje și tehnologii costisitoare, a adus în actualitate ideea epurării naturale, cu ajutorul plantelor acvatice, a „apelor-deșeu".

În lupta împotriva poluării apelor, oamenii de știință și-au găsit aliați de nădejde în ... plantele acvatice. Ele pot separa soluțiile coloidale, limpezind apa, pot neutraliza apele alcaline sau acide, sprijinind pe această cale acțiunea de purificare exercitată de microorganisme, măresc conținutul de oxigen în apă etc. Aceasta fără a mai vorbi despre acțiunea lor de consolidare a terenurilor mlăștinoase sau de influența binefăcătoare asupra nivelului și calității apelor freatice. Stuful, trestia, papura, rogozul, pipirigul, precum și alte asemenea plante au dovedit nu numai o mare capacitate de acomodare în ape cu conținut ridicat de substanțe toxice, în care nici un alt organism viu nu supraviețuia, ci și una încă și mai mare, de a acumula aceste substanțe, purificînd astfel apele uzate.

Stuful, de exemplu, suportă perfect concentrații de mercur la care algele sau microorganismele — celelalte elemente ale epurării biologice — sînt de mult anihilate. Explicația acestei rezistențe deosebite, afirmă specialiștii, constă în faptul că zona de creștere a stufului este situată la baza și nu la vîrful său, ca în cazul altor plante. În acest fel, el crește tot timpul din apa impurificată. Remarcabilă este, de asemenea, și capacitatea de retenție a stufului față de mercur sau de alte metale grele, precum și față de cloruri, sulfați sau cianuri.

Mecanismul absorbției, precum și procesele biochimice care au loc în plantele acvatice în aceste ocazii sînt încă foarte puțin cunoscute. Se consideră că în cazul stufului o mare cantitate de săruri minerale este separată de plantă prin intermediul tulpinii, în timp ce metalele grele sînt eliminate, odată cu surplusul de apă, sub formă de vapori, prin stomatele frunzelor.

Probleme extrem de dificile ridică, în tehnologia epurării, îndepărtarea și neutralizarea substanțelor organice. Fenolii și derivații săi clorurați, de exemplu, sînt extrem de greu de separat prin mijloace chimice. Cu ajutorul stufului, lucrurile devin extrem de simple. Astfel, un grup de specialiști de la Institutul de cercetări botanice „Max Planck" din Krefeld, R.F. Germania, a reușit să purifice complet ape industriale care conțineau pentaclorfenol în amestec cu cantități ridicate de clorură de sodiu.

O altă proprietate de mare interes și utilitate a plantelor acvatice este capacitatea lor de a distruge microbii patogeni. Astfel, după cum au arătat numeroase experiențe, unele plante acvatice exercită o puternică acțiune bactericidă asupra diferitelor specii, ca *Escherichia coli*, *salmonela* sau *enterococi*. Se pare că acțiunea se datorează unor anumite enzime care se găsesc în rădăcinile plantelor. Ceea ce încă nu s-a clarificat este dacă aceste enzime sînt preparate direct de plantă sau ele rezultă din procesele biochimice ale microorganismelor cu care ea trăiește în simbioză.

În sfîrșit, o ultimă caracteristică ce pare să țină de domeniul miraculosului: plantele acvatice pot combate radioactivitatea. La Centrul de cercetări nucleare din Karlsruhe, R.F.G., în buncăre speciale era depozitată o mare cantitate de nămoluri radioactive. Cum simpla separare a apei, fără a o contamina însă, ar fi constituit un succes deosebit deoarece ar fi redus mult volumul deșeurilor, s-a recurs la încercarea de a cultiva trestii pe aceste nămoluri. Rezultatul l-a constituit nu numai reducerea la circa 1/50 a volumului deșeurilor, ci și absența oricărei urme de radioactivitate în apa evacuată, în reziduul solid obținut, precum și în înseși plantele cultivate. Singura explicație dată de cercetători a fost ipoteza că metalele grele radioactive au fost întîi asimilate, iar apoi evacuate prin stomate, odată cu vaporii de apă, fiind împrăștiate în atmosferă.

Utilizarea plantelor acvatice în adevărate uzine de epurare biologică a început să depășească stadiul experimentărilor, intrînd în cel al aplicațiilor practice. În S.U.A., de exemplu, apele uzate ale unei imprimerii de textile, ce conțin cantități mari de substanțe nocive — coloranți, aditivi, săruri — sînt tratate cu succes cu ajutorul unei culturi stuficole. Calitatea apelor rezultate este foarte ridicată, iar „randamentul" creșterii stufului este de 20 de ori mai mare decît în mod obișnuit. Aceluiași tratament îi sînt supuse, cu același succes, apele reziduale de la un mare abator din Florida sau cele de la o fabrică de zahăr din R.D.G.

Folosirea plantațiilor acvatice la dezinfectarea apelor a fost și ea încununată de succes. În R.F.G. funcționează o „instalație" biologică pentru distrugerea microorganismelor în apele provenite din localitatea Rumeln-Kaldenhausen, iar în Olanda se dezinfectează pe această cale apele provenite de la campinguri și spitale.

Fără a lua în considerare avantajele pe care le prezintă cultura plantelor acvatice pentru consolidarea terenurilor, pentru obținerea de terenuri noi prin înaintarea uscatului în apele salmastre sau dulci, pentru eliminarea excesului de umiditate și prevenirea erodării sau sărăturii solurilor, folosirea lor ca adevărate baterii de filtre vii, în sistem cascadă, pentru epurarea apelor reziduale este extrem de avantajoasă, deoarece energia consumată, ca și „instalațiile" folosite sînt puse gratuit la dispoziție de natură. S-a calculat că amenajarea unei uzine biologice pe bază de plante acvatice costă de trei ori mai ieftin decît una chimică, iar cheltuielile de întreținere sînt de cîteva ori mai reduse. În aceste calcule nu

a fost cuprinsă valoarea produselor ce se pot obține prin prelucrarea „recoltelor" rezultate în asemenea instalații: furaje, compost, îngrășăminte și chiar gaz metan, prin fermentarea anaerobă a plantelor acvatice.

Cel mai mare avantaj însă, susțin ecologii, îl constituie protejarea naturii pe căi pur naturale.

În țara noastră, preocupările pentru epurarea apelor uzate cu ajutorul plantelor, însoțită de obținerea unor mari cantități de biomasă valorificabilă sub multiple forme, au înregistrat progrese deosebite. Cel mai cunoscut obiectiv de acest gen este așa-numita „piramidă bioenergetică" de la Pitești. Dispunerea cascadei de filtre vii pe mai multe nivele în cadrul unei construcții de formă piramidală s-a dovedit a avea o eficiență deosebită, fapt ce face din specialiștii noștri promotorii unei „linii românești" în studiile de profil ce se întreprind în prezent în lume.

Alte soluții, mai radicale, preconizează „evacuarea" industriilor poluante în largul mărilor și oceanelor Terrei. Astfel, profesorul Eugene Chesson de la Universitatea americană Delaware, unul dintre promotorii proiectelor de transplantare a industriei în zonele marine, declara că încă înainte de sfîrșitul acestui secol se vor afla în exploatare una sau mai multe insule industriale artificiale, iar numeroase altele vor fi în curs de execuție. Este oare îndreptățită o asemenea opinie? Răspunsul pare să fie afirmativ. Țări ca Franța, Marea Britanie, Belgia, Olanda și R.F.G., pentru a ne limita la exemple europene, au nevoie, în viitorii 15 ani, de aproximativ 100 000 de hectare pentru a-și extinde platformele petrochimice, rafinăriile sau uzinele siderurgice. Or, arată experții în ecologie, nici măcar pentru jumătate din această suprafață nu există posibilitatea obținerii autorizației de scoatere din circuitul natural. Se caută deci cu tot mai multă asiduitate soluții.

Una dintre căile ce se conturează este, așa cum am arătat, construirea de insule industriale artificiale. Proiecte de dată recentă, relatează revista vest-germană „Der Spiegel", prevăd de exemplu, amplasarea a două asemenea insule, de cîte 3 300 hectare fiecare, la 50 km în largul coastelor Olandei și, respectiv, la 30 km de cele ale Marii Britanii. Costul lucrărilor se ridică la 4 miliarde

de dolari, iar durata lor este estimată la 10—15 ani. Cum pe cele două platforme urmează să fie construite rafinării, uzine petrochimice, mari combinate siderurgice, instalațiile portuare de deservire vor ocupa, la rîndul lor, o suprafață însemnată pentru a putea permite traficul unor cantități imense de materii prime, semifabricate și produse finite. Se prevede ca personalul de deservire — docheri, muncitori, specialiști — să se ridice la 27 000 de oameni.

Deși investițiile sînt, evident, mari, odată construit, gigantul industrial marin își amortizează mult mai repede cheltuielile decît pe uscat. Aceasta în special datorită scăderii cheltuielilor de transport, dat fiind că în porturile insulelor artificiale vor putea acosta marile petroliere sau cargourile și mineralierele gigant care vor încărca sau descărca direct din sau în uzine. Economii însemnate se vor putea obține și pe seama reducerii cheltuielilor de epurare, transport și haldare a reziduurilor. Astfel, deșeurile lichide vor putea fi valorificate ca materie primă în uzinele chimice, iar cele solide vor putea fi folosite ca material de construcție pentru extinderea platformelor sau pentru înlocuirea nisipului erodat de valuri și curenți (se apreciază că în fiecare an eroziunea va face necesară înlocuirea, în partea vestică a insulelor artificiale, a circa 6 milioane metri cubi de nisip).

Nici mediul ambiant, afirmă autorii proiectului, nu va fi periclitat. Cele aproximativ 7 miliarde kilocalorii ce vor fi degajate zilnic nu vor aduce, datorită eliberării lor treptate, decît o încălzire de numai 2 grade a apelor din zonele învecinate, ceea ce pentru pești și alte viețuitoare marine nu constituie o problemă.

O altă soluție extrem de atractivă, despre care scria recent revista „Sciences et avenir", o constituie îmbarcarea uzinelor pe imense pontoane și remorcarea lor pînă la locurile de amplasare, în largul sau chiar pe coastele mărilor și oceanelor. O asemenea modalitate de rezolvare a și fost experimentată. În urmă cu 15 ani, societatea petrolieră ESSO a decis construirea în Belgia a unei rafinării. Ea a fost amplasată la bordul unui imens ponton de beton, care a fost apoi remorcat și eșuat pe coastele Libiei, unde a și intrat imediat în funcțiune.

Factorul esențial care a permis trecerea la asemenea soluții tehnice îl constituie dezvoltarea deosebită a construcțiilor navale. Astfel, s-a ajuns ca în prezent în marile șantiere navale să se construiască curent vase cu lungimi de 150 m și lățimi de 50 m. Mai mult, în Japonia au fost proiectate docuri capabile să permită construcția unor unități navale cu dimensiuni de 220×230 m. Suprafața unei uzine convenționale nu depășește însă în mod obișnuit, 20 000 m². În sfîrșit, remorcherele au atins puteri uriașe — pînă la 25 000 CP —, astfel încît, cu ajutorul mai multor vase-remorcher, au putut fi transportate, în Marea Nordului de exemplu, structuri cu greutăți de 170 000 de tone. Pentru comparație să notăm că o uzină clasică ar cîntări doar aproximativ 25 000 de tone.

Ideea de a îmbarca uzinele la bordul unor pontoane și a le transporta la locul de funcționare este nu numai perfect realizabilă în condițiile actuale, ci și avantajoasă din punct de vedere economic. Se estimează că pe această cale se poate obține punerea în funcțiune a noului obiectiv industrial cu circa 6 luni mai devreme, ceea ce pentru o operație care durează 3—4 ani înseamnă un cîștig apreciabil. De asemenea, lucrările de construcție a fundațiilor, de amenajare și organizare a șantierului etc. sînt complet eliminate. Transportul tuturor utilajelor se face într-o singură tranșă, iar lucrările de montaj, începute în șantierul naval, pot continua, la fel ca și probele tehnologice premergătoare intrării în funcțiune a uzinei, la bordul pontonului, în timpul remorcării. Rezultă, pe ansamblu, o economie de circa 20 la sută la costul global al investiției.

Iată de ce proiectele de construcție a unor uzine plutitoare au început să prolifereze. Șantierele navale franceze au proiectat realizarea unei fabrici de celuloză, a unei centrale electrice și a unei uzine de lichefiere a gazelor naturale, toate situate pe platforme plutitoare. Cea mai importantă comandă a fost deja executată de șantierele navale japoneze I.H.I. pentru Brazilia. În pădurile seculare de la gurile Amazonului a intrat de curînd în exploatare fabrica de hîrtie amplasată pe un ponton gigant, care a parcurs imensa distanță dintre arhipelagul nipon și America de Sud.

În Arabia Saudită, două societăți petroliere americane studiază posibilitatea utilizării acestei tehnici pentru construirea unei rafinării gigant și a unui mare complex petrochimic. Proiectul prevede folosirea, pentru o singură uzină, a nu mai puțin de 10 pontoane. În Filipine se are în vedere construirea a două centrale atomoelectrice, amplasate pe platforme plutitoare.

Realizarea tuturor acestor proiecte întîmpină însă opoziția ecologilor, care atrag atenția asupra pericolului pe care dezvoltarea necontrolată a industriei plutitoare l-ar putea prezenta pentru viața mediului marin. Insulele artificiale industriale din Marea Nordului — și așa extrem de poluată datorită exploatării zăcămintelor de țiței și gaze naturale — ar urma să fie amplasate chiar în zonele în care pești ca heringul și cambula își depun icrele. Or, în ultimii ani, heringul mai ales a ajuns să fie din ce în ce mai rar în această zonă, cantitățile pescuite la începutul anilor '80 fiind de circa 11 ori mai reduse decît în 1965. Iată de ce transpunerea în viață a unor asemenea proiecte grandioase și, desigur, utile, trebuie să se facă cu multă atenție pentru ca viața marină să nu fie afectată.

Cei mai mulți specialiști tind totuși, în ultima vreme, să accepte ideea că rezolvarea problemei poluării nu poate fi asigurată prin măsuri de tratare chimică, oricît de eficiente ar fi ele, a deșeurilor tehnologiilor industriale, ci numai prin considerarea acestora ca niște subproduse valorificabile în continuare. Cu alte cuvinte, înțelegînd că, de fapt, poluarea înseamnă risipă de materiale și substanțe prețioase, industria prelucrătoare trebuie să se dezvolte „în circuit închis", tratîndu-și reziduurile drept... noi materii prime. Că această soluție este nu numai valabilă, ci, mai ales, rentabilă, o dovedesc numeroase realizări recente. Iată una dintre ele, din domeniul atît de nevralgic al metalelor neferoase.

Industriile contemporane sînt, fără îndoială, consumatori din ce în ce mai mari de metale. Alături de „foamea de energie", în prezent se manifestă tot mai acut „foamea de metale". Unele metale neferoase, cum ar fi, în special, cuprul, au devenit, în ultimii ani, materii prime deficitare. Mai mult, analizele făcute de experți au demonstrat că nu este departe vremea cînd actualele rezerve de minereuri „bogate" se vor epuiza. Astfel, la actualul ritm

de extracție, cele 370 milioane tone de minereu de cupru inventariate în prezent vor ajunge pentru 27—30 de ani, cele 4,2 milioane tone de staniu pentru 16 ani, iar cele 119 milioane tone de zinc pentru 17 ani.

Iată de ce oamenii de știință sînt preocupați tot mai mult de valorificarea așa-numitelor minereuri „sărace", în care conținutul de metal este scăzut. Semnificativ în această direcție este faptul că limitele minime luate în considerare pentru punerea în exploatare a unor zăcăminte au scăzut continuu. Dacă la sfîrșitul deceniului '60 ele erau de 25—30% la fier, 3% la plumb și 0,5% la cupru, în prezent, datorită creșterii cererii de metale, a prețurilor lor (în perioada 1945—1975 prețul cuprului a crescut de circa 9 ori), aceste limite sînt mult mai scăzute.

Tocmai aceste condiții au impus căutarea unor procedee tehnologice capabile să permită exploatarea minereurilor cu un conținut scăzut de substanțe utile, au stimulat cercetările pentru punerea la punct a unor tehnologii de reciclare care, cu puțină vreme în urmă, ar fi fost considerate ca fiind neeconomice.

Pentru valorificarea minereurilor sărace de cupru, ca și pentru reintroducerea în circuitul economic a ceea ce era denumit, pînă nu de mult, „sterilul" — produsul-deșeu provenit de la stațiile de îmbogățire a minereurilor de cupru — de mare interes este o tehnologie de vîrf studiată de specialiștii de la Universitatea din Birmingham, Marea Britanie. Este vorba despre extracția cu solvenți organici a metalelor, metodă utilizată pînă acum doar în producerea unor metale scumpe, cum ar fi, de exemplu, uraniul.

În ce constă acest procedeu considerat, pe bună dreptate ca revoluționar?

Principiul de bază al extracției cu solvenți a metalelor constă în transferul unui ion metalic dintr-o soluție apoasă într-un solvent organic nemiscibil (cum ar fi, de exemplu, petrolul) în care se află dizolvat un „agent de extracție". Acesta este capabil să formeze un complex cu metalul respectiv, care, la rîndul său, este insolubil în apă, dar solubil în solventul organic.

Considerînd cazul soluției de sulfat de cupru și al

unui acid organic HR_{ORG}, folosit ca agent de extracție, reacția decurge astfel:

$$Cu^{2+} + SO_4^{2-} + 2H^+ + 2R^-_{ORG} \longrightarrow Cu(R_{ORG})_2 + 2H^+ + SO_4^{2-}$$

Extracția se face prin agitarea soluției apoase împreună cu cea organică ce conține agentul de extracție. Pe măsură ce se formează, complexul cuprului cu acidul organic se dizolvă în solventul organic. În acest fel, ionul metalic este transferat din soluția apoasă în cea organică.

Separarea celor două soluții permite izolarea metalului complexat de alți ioni metalici care pot fi prezenți în soluția apoasă inițială. Metalul extras poate fi apoi trecut din nou în soluția apoasă, care este utilizată apoi în continuare în procesul tehnologic, în timp ce soluția organică este reciclată pentru o nouă separare.

Acesta este în mare și felul în care se procedează în cadrul procesului tehnologic de valorificare a minereurilor sărace sau a „sterilului" imaginat de cercetătorii britanici. Materia primă conținînd cuprul sub formă de oxid de cupru este tratată în vasul de agitare cu acid sulfuric diluat. Acesta este folosit ca agent de dezagregare, deoarece dizolvă perfect oxidul de cupru mineral din marea majoritate a minereurilor. Pe de altă parte, în prezent, marea majoritate a stațiilor de tratare a minereurilor de cupru cuprind și procedee de topire a sulfurilor de cupru, proces în care se degajă bioxid de sulf, care poate fi folosit cu ușurință la fabricarea acidului sulfuric. În acest fel, el este ieftin și ușor de obținut chiar la fața locului.

Soluția acidă astfel obținută conține însă, în afara cuprului, și cantități importante din alte metale solubile în H_2SO_4 — în special de fier. Tocmai pentru a asigura separarea cuprului de fier — proces extrem de dificil de realizat pe alte căi — este utilizată extracția cu solvent.

Dintre numeroșii agenți de extracție ce stau la îndemîna chimiștilor, cei mai obișnuiți, ca de exemplu, acizii carboxilici sau acizii alchilfosforici, sînt inutilizabili pentru această separare, deoarece ei extrag fierul înaintea cuprului. Această tehnică a devenit aplicabilă în condiții economice după descoperirea recentă a unor agenți de extracție selectivi, care scot doar cuprul din soluția

apoasă rezultată în urma tratării. În prezent, tehnica a pus la îndemîna metalurgilor cîțiva derivați organici care permit extragerea cuprului în mod selectiv.

Procedeul cuprinde, așadar, o agitare a soluției acide rezultate în urma dezagregării minereului într-un vas special cu soluția organică. După trecerea cuprului în solventul organic (petrol), soluția apoasă conținînd H_2SO_4 este recirculată printr-un sistem de conducte spre vasul de dezagregare. La rîndul său, solventul organic conținînd cuprul este trecut în vasul de separare, unde complexul cuprului cu agentul de extracție este distrus sub acțiunea acidului sulfuric concentrat (20%). Cum soluția inițială de tratare conține în mod obișnuit circa 5 g Cu/l concentrația metalului poate fi crescută prin folosirea unor volume din ce în ce mai scăzute de solvent organic și, respectiv, acid sulfuric concentrat. În acest fel, soluția puternic acidă finală poate atinge concentrația de 30 g Cu/l, fapt care îi permite să fie folosită ca electrolit de bază pentru obținerea electrolitică a cuprului în baia de electroliză.

Electrolitul acid este reciclat pentru a colecta din nou cuprul din soluția organică, astfel că problemele pe care le-ar ridica epurarea apelor reziduale ale procesului sînt, practic, evitate.

Procedeul extracției cu solvenți capătă o importanță deosebită și într-un alt domeniu de mare interes al metalurgiei neferoase: reciclarea deșeurilor metalice. Să ne amintim că în prezent obținerea metalelor neferoase din surse secundare (deșeuri) este de mare actualitate. În Anglia, de exemplu, circa 50% din cuprul utilizat industrial provine din reciclarea deșeurilor.

Deșeurile metalice neferoase capătă o importanță economică tot mai mare. În întreaga lume se organizează adevărate rețele de colectare a țevilor, a vaselor și fitingurilor de cupru. Retopite, aceste deșeuri sînt puse din nou la dispoziția industriei.

Problema centrală a valorificării deșeurilor de cupru o constituie însă proporția mare de impurități — fier, alte metale neferoase, materiale plastice etc. — pe care le conțin unele categorii de materiale supuse reciclării: echipament telefonic vechi, materiale electrotehnice și electronice. De aceea, aceste deșeuri industriale sînt tratate în cuptoare cu insuflare de aer, unde materialele combustibile sînt arse, iar o bună parte din fier este transformat într-o zgură de silicați. Dar metalul obținut în acest fel nu este suficient de pur. Pe de altă parte, zgura care se obține în cantități însemnate conține în proporții destul de ridicate cupru, precum și numeroase alte metale neferoase ce se găseau în echipamentul respectiv: nichel, zinc, plumb, aluminiu, staniu.

În timp ce metalul brut obținut poate fi purificat în convertizor și prin metoda electrorafinării, obținîndu-se un cupru destul de pur, cantitățile mari de metal din zgură se iroseau pînă nu de mult.

Primul obiectiv al cercetărilor întreprinse de aceeași echipă de oameni de știință de la Universitatea din Birmingham pentru perfecționarea acestor tehnologii de reciclare a deșeurilor de cupru a fost reducerea cantităților de metal neferos ce se pierdeau în zgură.

Aceasta s-a realizat prin folosirea unui cuptor reproiectat, cu ardere continuă și cu atmosferă controlată. Ceea ce se obține în cuptor este un aliaj metalic conținînd cupru, nichel, staniu, zinc și plumb, precum și o cantitate destul de însemnată de fier. Pasul următor îl constituie, după operația de răcire și granulare, separarea din aliaj a fiecărui metal neferos. Pentru aceasta aliajul trebuie adus mai întîi în soluție, ceea ce se realizează cu ajutorul acidului clorhidric, în prezența aerului. El nu trebuie să fie prea concentrat, nu e scump și e nepoluant.

Pentru separarea cuprului, precum și a celorlalte metale neferoase din soluția de cloruri în vasele de extracție se pot utiliza agenți de extracție specifici. Mai avantajos ar fi să se folosească însă același agent de extracție, care să complexeze pe rînd metalele respective. Cum s-ar putea realiza acest deziderat?

Să ne reamintim reacția de formare a complexului $Cu(R_{ORG})_2$. Se vede clar că echilibrul acestui proces este influențat puternic de concentrația ionului de hidrogen, cu alte cuvinte de aciditatea (*p*H-ul) soluției. Cercetările urmăresc în prezent determinarea condițiilor specifice de aciditate pentru separarea treptată a celorlalte metale neferoase.

Ca o exemplificare a posibilităților de separare deosebit de selective pe care le oferă această metodă poate fi menționată separarea zincului de cadmiu. Aceste două

metale se găsesc în mod natural împreună. Tot împreună și în cantități destul de mari (mai ales cadmiul) ele se găsesc și în zgura obținută la reciclarea deșeurilor de metale neferoase. Amîndouă metalele formează clorocomplecși, perfect asemănători cu cei pe care-i formează cuprul. Dar acești complecși au domenii diferite de stabilitate, în funcție de concentrația acidului clorhidric. În acest fel, prin simpla modificare a aciditații, se poate obține separarea celor două metale cu același agent de extracție.

Revenind la obținerea cuprului, este de menționat faptul că soluția organică ce conține complexul de cupru este tratată în reactor cu acid sulfuric. Cuprul trece din nou în soluție apoasă, după care, în baia de electroliză, are loc depunerea, la catod a metalului. Soluția electrolitică de H_2SO_4 se recirculă pentru o nouă fază.

La rîndul său, și soluția reziduală de cloruri (de fapt, conținînd, după extracția treptată a metalelor neferoase, numai clorura de fier) poate fi folosită la recuperarea acidului clorhidric necesar dizolvării aliajului brut obținut în cuptor. Prin tratament termic, fierul se depune ca oxid, iar acidul clorhidric se regenerează.

Cazul mercurului este similar. Într-adevăr, dezvoltarea industriei moderne a dus, printre altele, la ascendența unui metal care avea, pînă nu de mult, o folosire destul de restrînsă: mercurul. Datorită conductibilității electrice ridicate și a temperaturii de solidificare scăzute, el este catodul ideal în electroliza industrială, procedeu prin care se obțin, de exemplu, clorul și sodiul metalic din clorura de sodiu. Un alt mare consumator este industria petrochimică, unde mercurul este utilizat drept catalizator în sinteza PVC-ului sau acetatului de polivinil. În aparatura electrică, în special în bateriile uscate, sub formă de oxid mercuric, în lămpile de fluorescență, în redresoare, în termometre și manometre etc., mercurul reprezintă o componentă importantă. Același lucru se poate spune despre produsele farmaceutice, despre coloranți și vopsele, despre industria celulozei și hîrtiei sau cea textilă. În sfîrșit, în agricultură, fungicidele organomercurice au dobîndit la un moment dat o largă utilizare, în special pentru tratarea semințelor. Odată cu extinderea folosirii sale s-au conturat însă și pericolele pe care

mercurul le prezintă pentru echilibrul delicat al mediului ambiant.

Prima filă a dosarului mercurului, poate și cea mai gravă incriminare a sa ca poluant, a constituit-o incidentul Minamata. Cu aproape 30 de ani în urmă, datorită deversării în golful japonez Minamata a unor deșeuri de metil-mercur — substanță utilizată în industria de sinteză chimică — și acumulării lor în organismele marine consumate de localnici, au apărut fenomene grave de intoxicație. Catastrofa ecologică s-a soldat cu moartea a circa 200 de persoane și cu prejudicierea serioasă a sănătății multor altora, în special copii, datorită acțiunii distructive a mercurului asupra sistemului nervos.

În fluviul american Missouri se estimează că deversările zilnice ating 15 kg, în fluviul francez Oise — 27 kg pe zi, fapt care a dus la creșterea de 10 ori a concentrației de mercur față de cea înregistrată într-un rîu obișnuit; în zona Marsiliei se evacuează de peste 10 ani între 11 și 22 tone de mercur anual. Albastra Mediterană primește în fiecare an pînă la 100 tone de mercur, acumulările cele mai serioase constituindu-le țărmurile Italiei și Spaniei, țări în care se exploatează zăcăminte importante de cinabru (mineral din care se extrage mercurul).

Prezența mercurului în apele rîurilor și mărilor nu ar fi, prin ea însăși, atît de îngrijorătoare dacă nu s-ar constata totodată și o creștere a concentrației acestui metal în organismele peștilor și păsărilor acvatice. Thonii sau alte specii pescuite în Marea Mediterană prezintă un conținut în mercur de 3—4 ori mai ridicat decît cel înregistrat la aceleași varietăți capturate în Atlantic. Cca 28 la sută din peștele pescuit în Rin conține cantități atît de însemnate de mercur încît s-a apreciat că este mai prudent să se renunțe la consumul acestuia. Specii de pești, cum ar fi de exemplu gardonul (Gardonus vutilius), pescuite la gurile Rhonului, conțin pînă la 0,13 mg de mercur la 100 g de carne, adică 1,3 părți per milion (p.p.m.), depășind de aproape 3 ori conținutul alimentar admis de 0,5 p.p.m. La rîndul lor, păsările sînt și ele contaminate: au fost capturate rîndunici de mare al căror ficat conținea mercur în proporție de 18 p.p.m.

Cum ajunge însă acest metal în organismele vii, de vreme ce numai mercurul aflat în combinații chimice or-

ganice este asimilabil, iar acestea nu formează decît o infimă parte din cantitățile deversate?

Cea mai mare parte a mercurului metalic sau a sărurilor minerale ale acestuia se acumulează, după deversarea în apele rîurilor sau mărilor, în sedimente. Cercetări recente au demonstrat că anumite microorganisme neidentificate încă pot transforma mercurul în metil-mercur. Mecanismul acestei metilari, încă insuficient cunoscut, pare să aibă la bază fixarea mercurului în molecule de vitamina B_{12} sintetizate de microorganisme. Prin reacția acesteia cu acidul N5 metiltetrahidrofolic se formează, în urma transferului unei grupe metilenice (CH_3), compusul metil-B_{12}. În mediul reducător, acesta poate ceda grupa metilenică ionului de mercur fixat anterior, în acest fel luînd naștere periculosul metil-mercur.

O parte a acestui compus se degajă în atmosferă sub formă de dimetil-mercur — $(CH_3)_2Hg$ —, un produs extrem de volatil. Odată cu precipitațiile, el cade pe sol, contaminînd culturile și infestînd apele de suprafață și freatice. O altă parte, sub formă de metil-mercur — $(CH_3)Hg$ —, este asimilată de organismele acvatice, concentrîndu-se de-a lungul lanțului alimentar. Peștii microfagi conțin deja 0,5—1 p.p.m. Hg, iar cei carnivori ating un grad de concentrare de 4 p.p.m. Păsările absorb nu numai mercurul conținut în pești și insecte, ci și pe cel volatil adus de precipitații în semințe și plante. La capătul acestui lanț alimentar se găsește însă omul.

Ce se poate face în fața acestui pericol? Consumul mare de mercur înregistrat astăzi a făcut ca el să devină un metal scump, deficitar. Or, ce este mai logic și mai simplu de întreprins decît recuperarea celor mai slabe urme de deșeuri pentru ca, odată cu prevenirea poluării, să se readucă în circuitul economic o materie primă prețioasă? Este calea spre care se îndreaptă cercetările și tehnologiile moderne.

Chimia poate oferi chiar și o soluție viabilă spinoasei probleme a deșeurilor radioactive. Și aceasta tot prin recuperarea celui mai periculos și persistent reziduu al energeticii nucleare, plutoniul.

Numeroși specialiști sînt de părere că singura cale pentru a ieși din actuala criză a combustibililor fosili o constituie construirea pe scară largă de centrale nucleare,

singurele capabile să asigure omenirii energia de care aceasta are nevoie nu numai pentru dezvoltarea în continuare a civilizației noastre, ci chiar pentru conservarea acesteia. Dar centralele nucleare de fisiune, singurele realizate deocamdată, sînt legate de inconvenientul formării unor deșeuri radioactive ce constituie un pericol extrem de grav pentru viața planetei. Depozitarea lor în mine părăsite sau în peșteri naturale adînci nu poate fi privită decît ca un paleativ, ca o amînare a rezolvării unei probleme extrem de spinoase. Aceasta deoarece deșeurile radioactive își păstrează nocivitatea un timp extrem de îndelungat.

Soluția acestei probleme pare totuși să se întrezărească. Ea constă, în primul rînd, în separarea din produsele de fisiune a componenților cu un timp de înjumătățire mai scurt. Într-adevăr, deșeurile radioactive cuprind nu numai actinidele, caracterizate prin durate de viață foarte îndelungate — perioada de înjumătățire este de 24 400 de ani pentru plutoniu 239, 6 580 de ani pentru plutoniu 240 și 7 950 de ani pentru americiu —, ci și metale ca tritiu, kripton sau stronțiu 89 și 90, ale căror perioade de înjumătățire sînt, respectiv, de 12,3 ani, 10,26 ani, 52,7 zile și 27,7 ani.

Cum este posibilă separarea acestor metale? Prin intervenția unor molecule speciale, capabile să se combine, în mod selectiv, exclusiv cu atonii de actinide, dintre care, evident, cel mai „căutat" este plutoniul.

Asemenea molecule „specializate" au fost „proiectate" și sintetizate nu de mult la Laboratoarele Berkeley, California, de către o echipă de cercetători condusă de profesorul Kenneth Raymond. Este vorba despre compuși chimici chelați (denumirea provine de la numele grecesc al cleștilor racului), substanțe folosite în general ca agenți de complexare ai metalelor. Ei au într-adevăr proprietatea de a „apuca", de a captura ionii metalici, imobilizîndu-i atît prin intermediul unor legături chimice obișnuite, cît și cu ajutorul unora coordinative, de transfer de electroni.

Ideea în sine nu este nouă. De aproape două decenii se încearcă imobilizarea metalelor radioactive, în special a plutoniului, cu ajutorul unui alt compus chelat, acidul dietilen-triaminpentaacetic. Deși s-au obținut unele rezul-

tate, ADTP nu este selectiv, el reținînd, practic, orice metal greu aflat în soluție.

Tocmai această caracteristică specială de selectivitate o au însă compușii chelați preparați de cercetătorii americani. Punctul de pornire al lucrărilor l-a constituit studiul mecanismului prin care sideroforele, mai precis enterobactina —, un compus chelat natural, sintetizat de *Escherichia coli* — „capturează" din mediul înconjurător numai atomii de fier de care are nevoie, în metabolismul său, bacteria respectivă. Cum sub aspect chimic și biochimic proprietățile atomilor de fier sînt foarte apropiate de cele ale plutoniului — razele ionice ale celor două metale diferă foarte puțin, sarcinile electrice sînt +3 și, respectiv, +4, proteina care îi vehiculează în organismele vii este aceeași, locurile lor de depunere în organism (splina, ficatul, sistemul osos) sînt identice —, era logic ca substanțe cu structură apropiată de cea a sideroforelor să constituie agenți ideali de fixare a plutoniului.

Presupunerea s-a confirmat. Unii compuși chelați sintetici, înrudiți ca structură cu enterobactina, s-au dovedit a avea proprietatea de a se combina în mod selectiv cu plutoniul.

Perspectivele pe care le deschide această realizare sînt extrem de promițătoare. În primul rînd se va putea pune la punct o tehnologie relativ simplă de separare a persistentului plutoniu din masa de deșeuri radioactive rezultate din reactoarele de fisiune. Cu aceasta, evident, problema nu va fi imediat rezolvată. Dar volumul deșeurilor ce vor trebui depozitate va fi considerabil redus, ceea ce nu este deloc de neglijat. Se va putea trece chiar la o izolare selectivă a izotopilor radioactivi cu timpi foarte mari de înjumătățire, dat fiind că echipa de cercetători de la Berkeley se pregătește să sintetizeze, pe baza experienței dobîndite, „molecule capcană" specifice și altor actinide cum ar fi americiul, neptuniul și curiul. Numai acestea împreună cu plutoniul vor fi depozitate în subteran, în condiții decsebite, restul produselor de fisiune putînd fi „arse" în reactoare, folosite în radiochimie sau stocate pe perioade mult mai scurte.

În al doilea rînd, dacă soluția reactoarelor cu supraregenerare va fi vreodată adoptată — oponenții ei explică, pe bună dreptate, următoarele: primele centrale de fisiune au intrat în funcțiune la începutul anilor '50; la începutul secolului următor, se speră, vor fi puse la punct centrale de fuziune mult mai „curate" sub aspectul deșeurilor radioactive; așadar, pentru cîțiva zeci de ani de funcționare, reactoarele cu plutoniu vor fi creat omenirii grava problemă a deșeurilor radioactive ce nu va putea fi înlăturată decît peste zeci de mii de ani —, specialiștii vor avea la îndemînă o metodă simplă de concentrare și recuperare a plutoniului.

În sfîrșit, în al treilea rînd, noii compuși chelați promit să asigure un tratament eficace împotriva radiointoxicațiilor cu plutoniu. Izotopul radioactiv de plutoniu-239 este periculos, datorită radiațiilor alfa pe care le emite, numai cînd este inhalat în plămîni sau cînd pătrunde, prin plăgi deschise, în circuitul sanguin, deoarece se fixează în oase, ficat sau splină, declanșînd, cu timpul, cancerul. Pînă în prezent s-a încercat decontaminarea persoanelor expuse contactului cu plutoniu radioactiv cu ajutorul ADTP. Acesta însă se combină cu aproape toate metalele din organism, extrăgînd microelemente de mare importanță cum ar fi fierul, zincul, calciul. Pe de altă parte, agentul complexant este complet ineficace din momentul în care plutoniul a părăsit circuitul sanguin.

Or, experiențele de laborator pe șoareci au arătat că o injecție cu noul compus chelat, efectuată la trei minute după o contaminare cu plutoniu, permite evacuarea din organism a 74% din izotopul radioactiv introdus. Chiar după o oră de la contaminare, antidotul a reușit să recupereze 60% din periculosul metal injectat cobaiului. El își pierde capacitatea de protejare a organismului abia după aproximativ 24 de ore, interval în care plutoniul s-a fixat în organele interne sau în oase.

4. Instrumente de lucru neobișnuite

Una dintre cele mai spectaculoase realizări ale chimiei moderne o constituie transformarea produșilor chimici în adevărate instrumente de lucru. Aceste unelte de mare finețe sînt, de fapt, substanțe cu structură chimică foarte variată, ce au însă o trăsătură comună: toate dispun de cavități intramoleculare sau formează ansambluri unde apar asemenea interstiții. Datorită aces-

tui fapt, ele pot să funcționeze ca adevărate capcane, reținînd acele molecule sau atomi ale căror dimensiuni corespund cu cele ale cavităților.

Interesul deosebit pe care îl suscită „capcanele pentru molecule" are la bază posibilitățile largi de aplicare a fenomenului de absorbție-desorbție al diferitelor specii de molecule sau atomi. Astfel, ele pot servi la separarea constituenților unui amestec, la trasportul unui singur fel de molecule dintr-un mediu în altul, la protejarea unei molecule izolate față de contactul cu mediul ambiant etc. Mai mult chiar, ele pot permite desfășurarea în cavitățile lor a unor anumite reacții, comportîndu-se ca adevărate reactoare chimice submicroscopice.

Primele substanțe folosite în acest scop au fost zeoliții. Ei sînt niște aluminosilicați naturali sau sintetici la care rețeaua cristalină este constituită din molecule tetraedrice de oxid de siliciu și oxid de aluminiu, legate alternativ prin vîrfurile lor. Această caracteristică determină apariția de cavități și pori în cadrul ansamblului. Zeoliții au fost denumiți și „site moleculare", deoarece ei pot absorbi selectiv diferite molecule sau ioni, în funcție de dimensiunile acestora și ale interstițiilor rețelei.

Utilizați la început ca agenți de absorbție sau în uscarea și purificarea înaintată a substanțelor, zeoliții au astăzi aplicații importante în domeniul catalizei.

În structura poroasă a zeolitului pot fi fixați anumiți ioni metalici sau radicali chimici. Aceștia intră apoi în interacțiune cu molecule de substanțe absorbite provizoriu în cavități, catalizînd procesul chimic. Asemenea procedee sînt extrem de interesante din punct de vedere economic, mai ales atunci cînd catalizatorul este un metal foarte scump cum este, de exemplu, platina. Centre active de influențare a reacției dorite sînt în acest caz toți atomii de platină fixați într-o rețea zeolitică, deoarece substanțele reactante pot ajunge la fiecare dintre ei. Oricît ar fi de înaintat gradul de diviziune al unei pulberi platinice răspîndite în masa reactanților pentru a servi drept catalizator, ea nu va ajunge niciodată la un grad de eficiență similar cu cel al zeoliților, deoarece segmentarea nu va putea atinge nivelul atomic.

O altă categorie de substanțe care formează edificii ce pot îngloba molecule izolate unele de altele sînt clatrații.

Un asemenea exemplu îl constituie rețelele moleculelor de apă care închid în interiorul lor molecule de clor, brom, metan, hidrogen sulfurat, cloroform, izobutan etc. Astăzi se cunoaște cu precizie structura acestor edificii. În majoritatea cazurilor, apa cristalizează sub forma unui dodecaedru pentagonal cu latura de 2,8 Å. Se pot obține însă și structuri mult mai complexe, formate de exemplu din trei hexagoane și patru pentagoane sau chiar din patruzeci de pentagoane și cinci hexagoane. În spațiile libere ale acestor rețele complexe pot fi izolate diferite specii de substanțe. Prin simpla lichefiere a apei, structura se distruge, iar substanțele sînt puse din nou în libertate.

Proprietăți similare în ceea ce privește formarea de clatrați au și unii produși organici, cum ar fi hidrochinona. Moleculele acesteia delimitează la cristalizare cavități sferice cu un diametru de circa 8 Å, în care își pot găsi adăpost atomii unor gaze rare — argon, kripton, xenon.

Acest fel deosebit de stocare a gazelor rare este extrem de favorabil în cazul kriptonului-85, un izotop radioactiv utilizat în laboratoare și industrie ca sursă de radiații beta și care, datorită inerției sale chimice, nu se combină cu substanțe ce ar putea fi metabolizate, reducînd pericolul contaminării radioactive. Rețeaua hidrochinonică constituie un container ideal ce evită neajunsurile buteliilor de înaltă presiune, fără a diminua activitatea radiantă a izotopului.

Pe de altă parte, cum hidrochinona nu formează clatrați cu neonul sau heliul, ai căror atomi sînt mult prea mici pentru a fi reținuți în interstiții, ea poate fi folosită ca mijloc de separare a kriptonului, argonului sau xenonului dintr-un amestec de mai multe gaze rare. Separarea prin alte procedee a acestor gaze ar fi extrem de dificilă, dată fiind similitudinea comportamentului respectivilor atomi.

Experiențele au arătat că, la rîndul lor, ureea și tioureea au curioasa proprietate de a cristaliza în jurul foarte multor molecule organice. Ureea, de exemplu, poate închide în rețeaua ei cristalină molecule cu șase atomi de carbon. Și aceasta cu condiția ca respectivii atomi de carbon să formeze catene lineare. Hidrocarbu-

rile ramificate sau ciclice nu încap în canalele strîmte ale rețelei.

Aceste proprietăți sînt extrem de avantajos de folosit, mai ales în petrochimie, ca un mijloc de separare a hidrocarburilor lineare de cele ramificate sau ciclice. Ureea poate servi chiar și la separarea hidrocarburilor lineare, care au însă una sau mai multe duble legături. Aceasta deoarece în orice moleculă organică, atunci cînd între doi atomi de carbon există o dublă legătură, apare și o deformare a lanțului carbonic. Catena nu mai este perfect dreaptă, ci seamănă cu o linie frîntă. Evident, în acest caz, ea nu se va încadra în spațiile libere ale rețelei ureice.

Compușii de incluzie ai ureii au și o altă utilizare extrem de spectaculoasă: ei pot fi folosiți pentru izolarea izomerilor optici. Aceștia sînt, de fapt, două molecule absolut identice în ceea ce privește structura chimică, dar în care atomii sînt aranjați după o simetrie inversă. Ele se aseamănă la fel cum un obiect se aseamănă cu imaginea sa din oglindă sau cum mîna dreaptă seamănă cu mîna stîngă. În orice sinteză organică artificială se obține, de fapt, un amestec echivalent al celor doi izomeri. Dar în procesele biologice participă doar unul sau altul dintre izomerii optici ai unei substanțe. Iată ce explică interesul enorm pe care îl prezintă izolarea compusului biologic activ, respectiv ai izomerului levo sau dextrogir.

Separarea a două substanțe cu proprietăți chimice identice este posibilă prin faptul că ureea cristalizează sub forma unei structuri elicoidale. După cum această elice cristalină este orientată spre stînga sau spre dreapta — și aceasta poate fi dictată de condițiile de declanșare și continuare a reacției —, va rezulta un izomer optic captiv în rețea, iar celălalt liber, în soluție.

Dacă rețeaua cristalină a ureii poate servi la separarea unor substanțe, ea poate fi utilizată și la asamblarea „elementelor constructive" ale unei macromolecule după un plan anumit. Pentru aceasta este suficient ca monomerii să fie incluși în canalele „complexului arhitectonic" format de ureea cristalizată. Ei se vor orienta în ordinea și succesiunea dictate de rețeaua cristalină. O simplă iradiere cu electroni va declanșa polimerizarea. Va

lua naștere astfel o macromoleculă de forma canalelor elicoidale ale cristalului inițial. Polivinilul sau polibutadiena preparată prin această metodă prezintă proprietăți chimice și fizice extrem de interesante.

În sfîrșit, în rețelele cristaline de uree sau tiouree pot fi izolate moleculele unor substanțe sensibile la acțiunea oxigenului atmosferic. Acesta este cazul acizilor grași nesaturați ale căror proprietăți chimice nu ar fi fost complet cunoscute fără stocarea lor în complecșii ureici.

Anumite substanțe cu structură lamelară, cum ar fi grafitul sau unele varietăți de silicați, pot include între planurile rețelelor cristaline atomi sau molecule dintre cele mai variate.

Grafitul este format din hexagoane de atomi de carbon dispuse în planuri succesive. Distanța dintre două planuri este de 3,5 pînă la 10 Å. În aceste „spații de depozitare" își pot găsi adăpost numeroase substanțe, minerale sau organice. Complecșii grafitului cu aceste substanțe nu sînt utili numai în vederea separărilor sau purificărilor, așa cum era cazul clatraților sau al complecșilor de incluzie, ci se pretează foarte bine pentru efectuarea unor reacții chimice interesante, ce nu s-ar putea desfășura satisfăcător în alte condiții. Astfel, potasiul absorbit în grafit, permite reacții de polimerizare cu totul particulare. La rîndul său, bromul cuprins între lamelele carbonice ale grafitului nu numai că nu mai este la fel de coroziv ca în stare liberă, dar poate fi constrîns la reacții selective. Un asemenea exemplu îl constituie fixarea unui singur atom de brom la o anumită moleculă organică în locul bromurării multiple pe care ar fi produs-o folosirea elementului în stare pură.

Reacții chimice extrem de interesante pot fi efectuate și cu substanțe organice cuprinse în structura lamelară a unor silicați, cum ar fi montmorilonitul. În microreactoarele formate de interstițiile acestui silicat au fost sintetizați, plecînd de la reactivi foarte simpli, compuși porfirinici. Realizarea este extrem de interesantă dacă ținem seama de faptul că porfirinele stau la baza unor substanțe biologice esențiale cum ar fi hemoglobina, clorofila sau vitamina B_{12}.

În afara interesului practic, a perspectivelor fascinante pe care le deschid în sinteza unor biopreparate, aceste

reacții ar putea explica și secretul apariției vieții pe Terra. Se poate presupune că evoluția moleculelor organice spre substanțe biologice cu rol fundamental în fotosinteză și respirație ar fi putut avea loc în spațiile libere ale silicaților de genul montmorilonitului.

Pe baza progreselor înregistrate în sinteza organică s-a reușit nu de mult să se obțină „capcane moleculare" artificiale, formate dintr-o singură macromoleculă tridimensională. Numite kriptați (*kryptos* înseamnă în greaca veche ascuns), aceste substanțe sînt astfel construite prin sinteza chimică încît pot „ascunde" în interiorul lor un ion metalic pe care îl absorb din soluție. În funcție de proprietățile chimice și de dimensiunile ionilor, s-au preparat kriptați cu acțiune specifică pentru sodiu, potasiu, argint, calciu, litiu etc. Prin intervenția lor se poate asigura extracția unui anumit ion dintr-o soluție ce conține mai multe metale dizolvate, fapt de mare importanță atît în obținerea metalelor ultrapure, cît și în protejarea mediului înconjurător, prin posibilitățile de separare a unor poluanți periculoși cum sînt plumbul, cadmiul, mercurul etc.

Kriptații joacă însă astăzi și rolul de agenți de transfer al ionilor metalici dintr-un mediu într-altul. Cum moleculele lor organice sînt solubile în diferiți solvenți, ionii cuprinși în ele pot fi transportați dintr-o soluție apoasă în mediul organic și invers. Acest fenomen explică trecerea ionilor metalici, cum ar fi potasiul din sînge (mediu apos), prin membranele lipidice ale celulelor (mediu organic), în protoplasma celulară (mediu apos).

Macromoleculele sintetizate în ultima vreme de specialiștii acestui domeniu atît de spectaculos dispun de cavități ce pot adăposti nu numai ioni metalici, ci și molecule organice mai mari. Prin intermediul construirii unor „recipiente moleculare" pe măsură se încearcă în prezent complexarea izomerilor optici din amestecul lor sau separări spectaculoase în domeniul substanțelor organice și biologice. În sfîrșit, asemenea macromolecule pot absorbi unele substanțe astfel încît numai anumite zone să rămînă nemascate de pereții „recipientului". În acest mod, un reactant nu va putea ataca molecula absorbită decît în anumite poziții, fapt de o remarcabilă însemnătate pentru dirijarea în sensul dorit a unei sinteze chimice complicate.

Cu toate progresele realizate, aceste studii și aplicații ale „capcanelor pentru molecule", susțin specialiștii, nu sînt încă decît la începutul lor, perspectivele justificînd cele mai optimiste speranțe.

Un alt instrument de lucru cu totul neobișnuit pentru industria și laboratorul chimic de acum 2—3 decenii s-a dovedit a fi... calculatorul electronic. Dacă intervenția sa în conducerea proceselor tehnologice chimice tot mai sofisticate din ultimii ani — devenite atît de complexe încît posibilitățile de supraveghere și decizie în timp util depășesc deja capacitățile umane, impunîndu-le cu tot mai multă autoritate pe cele ale creierului electronic — este îndeobște mai bine cunoscută, nu același lucru se poate spune despre impactul computerului modern asupra sintezei chimice.

Unul dintre cele mai interesante, mai importante și, în același timp, mai dificile domenii ale cunoașterii umane îl constituie, fără doar și poate, cel al sintezei chimice organice. Într-adevăr, „arta" de a construi edificiile uneori de o extraordinară complexitate ale moleculelor utilizate în cele mai diferite domenii ale tehnicii secolului XX, de la industria aerospațială la microelectronică sau de la industria coloranților la cea a medicamentelor, cu ajutorul unor „cărămizi" cu dimensiuni practic infinit de mici, cum sînt atomii sau grupările submoleculare, reprezintă o sarcină extrem de grea chiar și pentru chimistul timpurilor noastre.

În ciuda marilor dificultăți pe care le ridică, sinteza chimică a contribuit din plin și promite să continue a contribui în mod deosebit la progresul general al umanității. Nu numai polimerii speciali, de neînlocuit în mai toate domeniile de vîrf actuale, ci și coloranții, pesticidele, medicamentele și chiar proteinele, de care avem atîta nevoie, pot fi preparate sintetic cu ajutorul acestei minunate dar dificile „tehnici arhitecturale".

Din păcate, deși legile de bază ale felului în care moleculele mici se pot „îmbina" pentru a forma gigantice „construcții" macromoleculare sau legile modului prin care o anumită grupare moleculară poate fi transformată într-o alta sînt bine cunoscute, realizarea practică a unui

anumit model de moleculă ales este extrem de dificilă, atît datorită complexității acestuia, cît și, mai ales, numeroaselor căi și variante prin care o aceeași sinteză este posibilă. Iată de ce despre sinteza chimică organică se vorbește încă des ca despre o „artă" în care intuiția și inspirația cercetătorului joacă un rol important în găsirea unei căi „elegante" de obținere a produsului dorit.

Cum orice sinteză, chiar și una destul de simplă, presupune un plan de lucru, o strategie și o ordine a reacțiilor chimice utilizate, cel mai apropiat „colaborator" al cercetătorului în optimizarea căilor de urmat este, desigur, calculatorul. Cu ajutorul operațiilor logice de care este capabil, avînd depuse în memoria sa cunoștințe amănunțite despre proprietățile chimice și fizice ale fiecărei molecule de bază, precum și despre modificările pe care una sau alta dintre funcțiile chimice le produc asupra unei molecule, el este capabil să aleagă din „hățișul" de reacții posibile și dintre numeroșii reactanți ce pot fi utilizați calea cea mai simplă, cea mai avantajoasă de urmat pentru sinteza unei anumite substanțe, aleasă drept țintă finală.

Mai mult, în afara optimizării drumului de desfășurare a sintezei, calculatorul permite și alegerea celor mai simpli și mai ieftini reactivi, a condițiilor celor mai „blînde", sub aspect energetic, de reacție, avantaje deloc neglijabile în contextul actualei crize energetice și de materii prime.

Intervenția calculatorului în sinteza chimică presupune două procedee distincte de lucru.

Astfel, conform primului procedeu, se analizează inițial, în mod minuțios, diferitele operații intelectuale pe care le execută un cercetător atunci cînd stabilește o anumită (și desigur avantajoasă) cale de sinteză. Aceasta înseamnă că se furnizează calculatorului alegerea reacțiilor și reactanților, punctele de maximă reactivitate al acestora, strategia generală sau de moment adoptată. Cunoștințele chimice de care dispune calculatorul sînt reprezentate de bănci de date în care sînt descrise, mai mult sau mai puțin detaliat, un anumit număr de reacții din chimia organică. Apoi, pe baza acestor cunoștințe, i se cere ca, imitînd gîndirea umană, să propună el însuși o altă sinteză.

Cel de-al doilea procedeu recurge la formalizarea matematică a reactivității chimice: unei matrice conținînd atomii și legăturile chimice posibile între aceștia în cadrul reactivilor uzuali din chimia organică îi corespunde o alta, în care sînt descrise, tot sub formă matematică, produsele și subprodusele rezultate prin combinarea lor.

Modul practic de lucru este însă în ambele cazuri identic. El face apel la așa-numitul principiu al analizei retrosintetice, care constă în identificarea moleculelor susceptibile de a fi transformate, într-o singură etapă și cu ajutorul reacțiilor general cunoscute, în substanța pe care dorim să o sintetizăm. Inversînd ordinea unei sinteze, se pornește de la „molecula-țintă" și se caută reactanții imediat următori din care ea ar putea fi obținută printr-o singură reacție. Apoi, continuînd regresia pas cu pas, se ajunge pînă la reactivii de bază, cei mai simpli.

Sarcina cercetătorului este relativ simplă. El trebuie numai să „deseneze" inițial pe ecranul computerului structura chimică a moleculei pe care dorește să o prepare. Calculatorul îi analizează caracteristicile chimice și topologice, îi „recunoaște" natura, dimensiunile generale și ale „subansamblurilor" ce o constituie, poziția și felul grupărilor funcționale, precum și configurația eventualelor centre de asimetrie, responsabile pentru activitatea optică etc. După această etapă de „luare la cunoștință", modulul de sinteză explorează sistematic „fișierele" de care dispune memoria calculatorului, identifică reacțiile prin care s-ar putea obține structurile cuprinse în „țintă" și construiește precursorii corespunzători. Aceștia sînt apoi afișați pe ecran, vizualizîndu-se astfel prima etapă a lanțului de sinteză.

Nu-i mai rămîne chimistului decît să aleagă dintre aceștia pe cel pe care îl socotește cel mai convenabil și să-l propună calculatorului drept nou obiectiv de lucru și așa mai departe, coborînd astfel din treaptă în treaptă pînă la substanțele cele mai simple. Nimeni nu-l împiedică, desigur, ca din prima generație de reactanți să aleagă mai multe variante ale sintezei pentru a o putea alege, în final, pe cea mai convenabilă.

Cum însă calculatorul poate ajunge în acest fel la prea multe variante, cercetările din ultimii ani încearcă să pună la punct strategii care să împiedice explozia combinațiilor

posibile în lanțul sintezei, prin controlul acestora fie nivel cu nivel, fie la mai multe niveluri odată.

Auxiliari prețioși ai chimiei moderne, programele de sinteză cu ajutorul calculatorului cunosc, în ultima vreme, o dezvoltare deosebită. De la primul dintre ele, „Organic Chemical Synthesis Simulation", realizat în 1969, s-a ajuns astăzi la peste 10 programe de obținere a moleculelor chimice complexe. Aplicațiile practice în industria chimică au cunoscut și ele aceeași ascendență. De la produse izolate, literatura de specialitate vorbește astăzi despre întregi domenii ale așa-numitei ramuri a sintezei fine, în care modalitățile de obținere a produselor finale au fost stabilite cu ajutorul calculatorului, asigurîndu-se astfel optimizarea drumului și a condițiilor de sinteză.

O altă formă de implicare a calculatorului în chimie o constituie sistemul informatic cu ajutorul căruia se poate reprezenta structura spațială a marilor și complexelor molecule organice. Cu ajutorul unui spot de electroni, calculatorul „desenează" pe ecranul catodic de afișare poziția atomilor în edificiul molecular, conform modelului real și cum a fost ea codificată în memoria sa. Mai mult, prin folosirea a trei culori de bază — roșu, albastru și verde — care, prin combinare, pot da naștere la nu mai puțin de 64 de nuanțe diferite, sînt reprezentate nu numai felurile atomilor constituenți, ci și natura legăturilor chimice dintre aceștia. În sfîrșit, un dispozitiv optic special permite cercetătorului să „vadă" în spațiu imaginea moleculei pe care o examinează. Sistemul de calcul, care permite „fabricarea" de imagini ce reprezintă, practic, „fotografii" în trei dimensiuni ale moleculelor și atomilor din care acestea sînt formate, este capabil să vizualizeze nu numai structuri spațiale obișnuite, ci și secțiuni transversale, cum ar fi, de exemplu, o „secțiune" printr-o moleculă de DNA.

ÎN LOC DE CONCLUZII

Desigur, rîndurile de față nu au putut realiza o prezentare exhaustivă a intervenției chimiei moderne în cele mai diferite aspecte ale activității și vieții omului contemporan sau ale celui din deceniile viitoare. Ele au conturat doar cîteva aspecte generale ale unor probleme mai importante, mai apropiate de preocupările obișnuite ale cititorului interesat de progresul cunoașterii științifice. Numeroase alte probleme, de o spectaculozitate similară, au rămas neabordate.

Ceea ce autorul a dorit să realizeze este captarea și orientarea curiozității firești a cititorului, cu deosebire a celui tînăr, spre fascinanta lume a chimiei moderne, cu minunatele ei realizări de astăzi, cu marile ei promisiuni de viitor.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

Bayens, I., *Nutrition des plantes de culture*, Ed. Nouwelaerts, Louvain, 1976.

Crăciun, T., *Geniul genetic și ameliorarea plantelor*, Ed. Ceres, București, 1987.

Davidescu, D., Davidescu, V., *Agrochimia modernă*, Ed. Acad. R.S.R., București, 1981.

Florescu, M., *Resursele mondiale și limitele lor*, Ed. Politică, București, 1975.

Florescu, M., *Tendințe în dezvoltarea industriei chimice*, Ed. Tehnică, București, 1977.

Gauch, H. G., *Inorganic Plant Nutrition*, Ed. Dowden, Hutchinson et Ross Inc., Stroudsburg, Pa., 1972.

Hager, W., *Erdöll, Energieträger u. chem. Rohstoff*, Leipzig, Urania Verlag, 1960.

Nenițescu, C. D., *Chimie organică*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1966.

Popescu, A., Angelescu, E., *Procese catalitice în chimia hidrocarburilor*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1976.

Raicu, P., Badea, E. M., *Cultura de celule și biotehnologiile moderne*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 1986.

Suciu, Gh. C., *Progrese în procesele de prelucrare a hidrocarburilor*, Ed. Tehnică, București, 1977.

Watson, J. D., *Biologia moleculară a genei*, Ed. Științifică, București, 1974.

* * * *Istoria generală a științei; Știința contemporană*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 1976.

* * * *Energia în următoarele trei decenii*, Ed. Acad. R.S.R., București, 1978.

* * * *Alimentația și agricultura în următoarele trei decenii*, Ed. Acad. R.S.R., București, 1979.

* * * Colecțiile revistelor *Știință și tehnică*, *Science et vie*, *Science et avenir*, *Scientific American*, *New Scientist*, *La Recherche* din perioada 1976—1986.

* * * *Oil and Gas Journal*, *August 1977*, număr special „Petroleum 2000".

* * * Volumele de comunicări științifice ale celui de-al 10-lea Congres Mondial al Petrolului, București, septembrie 1979.

CUPRINS

Prefață 5

Scurtă introducere 7

Capitolul I

Factorul chimie în ecuația populație — resurse alimentare 9

1. Îngrășămintele clasice și cele neconvenționale . 11
2. De la „prașila chimică" la „medicamentele" pentru plante și animale 24
3. Chimia în agricultura și zootehnia viitorului . 38
4. În curînd, proteine sintetice! 60

Capitolul II

Civilizația materialelor sintetice 67

1. Mirifica microlume a macromoleculelor . . . 68
2. Polimerizarea stereospecifică revoluționează sinteza materialelor plastice 74
3. Spectaculoasele intervenții ale înlocuitorilor sintetici 82
4. Cauciucuri sintetice și fibre chimice 121
5. Biomaterialele 139

Capitolul III

Soluții chimice pentru criza energiei 147

1. „Dosarul combustibililor fosili" sau perspectivele energiei chimice 148
2. Combustibilii sintetici 172
3. Biocarburanți din plante 193
4. Surse electrochimice și fotocaptatori neconvenționali 203

Capitolul IV

Schiță de portret pentru chimia secolului XXI . . 213

1. Surse neașteptate de materii prime 214
2. Chimia cu consum redus de energie 235
3. O industrie chimică... ecologică? 250
4. Instrumente de lucru neobișnuite 267

În loc de concluzii 277

Bibliografie selectivă 278